【关于这个时空最权威的指南】

大宇宙百科全书

COMPANION TO THE COSMOS

［英］约翰·格里宾／著

黄 磷／译



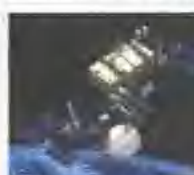


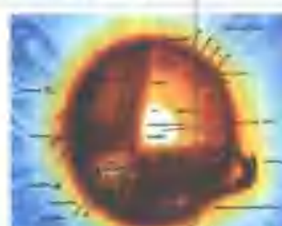
















海南出版社



格里宾在构思巧妙的导言中清楚说明了一切事物是如何开始的……如果你想知道，你就能在这里找到答案。

——刘易斯·沃尔珀特，《泰晤士报》

● 天文学和宇宙学方面的优秀著作已经为数不少，但《大宇宙百科全书》在这一汗牛充栋的领域中独树一帜……他所明白易懂的散文笔法陈述了涵盖异常广阔的极度引人入胜的资料，这将有助于理解今后几年出现在报刊大字标题中的任何天文学进展。

——马丁·里斯，《星期日泰晤士报》

● 作为世界顶级科普作家之一的约翰·格里宾，在本书中用他范围广博的研究，对我们认识上的敏感边界问题做出了重要贡献……这是我很久以来读到的最令人兴奋的书之一……是一本向智慧挑战的书，我愿意把它推荐给所有对生命，宇宙和一切事物真正感兴趣的人们。

——安杰尔·宇贝斯特，《泰晤士报教育副刊》

● 任何一份精选的世界最佳科普作家名单必须包括约翰·格里宾。他的天赋不单单是清楚而有说服力地展示复杂的思想，而且把它们描写得有如奇遇。这回跟随他漫游宇宙的读者一开始就会被紧紧抓住。

——安东尼·格雷林，《金融时报》

ISBN 7-5443-0145-1

9 787544 301459 >

ISBN 7-5443-0145-1/P·1

定价 39.80元

大宇宙百科全书

关于这个时空最权威的指南

[英] 约翰·格里宾/著
黄 磷/译



海南出版社

版权合同登记号：图字：30-2001-42 号

图书在版编目（CIP）数据
大宇宙百科全书／（英）约翰·格里宾（Gribbin,J.）著；
黄磷 译。-海口：海南出版社，2001.5
书名原文：Companion to The Cosmos
ISBN 7-5443-0145-1
Ⅰ.大… Ⅱ.①约… ②黄… Ⅲ.宇宙学－普及读物
Ⅳ.P 51-49
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 026880 号

大宇宙百科全书
作者：（英）约翰·格里宾 著
译者：黄磷
责任编辑：刘德军

海南出版社 出版发行

地址：海口市金盘开发区建设三横路 2 号
邮编：570216
电话：0898-66812776
E-mail:hnbook@263.net
经销：全国新华书店经销
印刷：**北京忠信诚胶印厂印刷**
出版日期：2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷
开本：880 × 1230 毫米 1/32
印张：21
字数：565 千字
印数：8000 册
书号：ISBN7-5443-0145-1/P·1
定价：39.80 元

译者前言

黄 磷

（北京天文台）

本书作者约翰·格里宾是一位卓有成就的理论天体物理学家，同时也是著作极丰的科普作家。他写了30多本科普书和科幻小说（近一半是独自著述），内容涉及时间和空间、黑洞和白洞、宇宙的起源、地球和气候、生命和科学家传记等等。他的书多次在英美获奖，很多已翻译成其他语种，其中不乏畅销书。

他于1996年出版的新著《大宇宙百科全书》，是一部独特而优秀的以介绍现代宇宙学为重点的天文科普作品。其独特之处在于其形式——词典式结构。全书正文部分1100多个条目，约35万字，将人类对宇宙的认识，从古代充满智慧的猜想，到今天基于观测事实的科学结论，一览无余呈现在读者面前。开篇的导言相当全面系统地陈述了当前学科状况，是阅读正文前不可不读的向导。由于重点条目——如大爆炸、黑洞、暴涨、核合成、暗物质、背景辐射、奥伯斯佯谬、超新星、太阳中微子问题、脉冲双星、时间之箭、基本粒子、基本力、量子理论……等等——都自成独立短文，所以你对某个问题特别感兴趣，你就能够找到有关条目，读到对于该问题的当前认识的详细介绍。行文中用单下划线标示条目间的交叉引用，能使你毫不费力查到与本条目有直接关联的其他条目，获得更多的相关知识。

虽然《大宇宙百科全书》讲述的是最最深奥的宇宙起源和演化问题，但作者用明白易懂的语言表达复杂事物的非凡才能，将

使读者感到仿佛被带到了宇宙创生的那一刻，似乎亲眼目睹了在那短促得难以想像的最初瞬间，宇宙是如何因量子涨落从‘空无一物’之中诞生，而后又如何经历约150亿年的演化而成为今天的样子。作者无疑是最令人难以理解的暴涨概念和大爆炸理论的坚定拥护者，但他在本书中不止于单纯宣扬这些理论，而是同时向读者展现了截止本书出版时的1990年代中期获取的大量支持这些理论的观测事实。在这些事实面前，任何对大爆炸抱有理性怀疑的人，都不得不承认大爆炸是值得尊敬的科学而非凭空臆造。至少在目前，大爆炸是对宇宙创生的最合理的说明。

当前宇宙学中更带根本性的问题是，大爆炸‘之前’发生过什么？我们身处其中的宇宙‘之外’还有宇宙吗？泡宇宙概念对此做出了有限的回答：我们的宇宙是从另一个暴涨时空区生长出来的，它不过是更大的宇宙物质海洋中的一个泡；而海洋中还有其他的泡。这一概念虽然仅是一种理论推测，但它的诱人之处是可能解决时空边界问题。关于宇宙学的这些以及其他激动人心问题的最新研究进展，本书都有极其精彩的论述。正是基于这一点，书中明确提出了‘大宇宙’一词，用来代表将一切宇宙（包括我们的宇宙）包容在内的超级宇宙。

要理解暴涨式大爆炸宇宙创生模式，必须将自己从常规思维桎梏中解放出来。宇宙创生时的极端条件，远非我们对当前宇宙的观测和在地球上的经验所揭示的能够比拟。我们应该习惯于谈论难以想像的高温度和高密度，以及在难以想像的极其短促的时间内发生的过程。

因此，阅读本书的最有效方法是，首先解放思想，展开想像的翅膀，准备好去理解极端条件下物质的行为。然后，详细阅读导言，了解宇宙起源和演化的基本图景以及存在的问题。在此基础上，从你特别感兴趣的某个问题人手，由正文的有关条目开始，沿着文中提示的交叉引用，逐步达到对该问题的全面的了解。正如有些书评所说，‘如果你想知道，你就能在这里找到答案。’译者在翻译过程中深感此言不谬。

本书并非无所不包的天文学大全，但对物质宇宙中的各类天体（包括流星和陨星、行星和卫星、太阳系、各类恒星和星团、各类星系、星系团和超星系团）、天文学和物理学的很多基本概念，以及对宇宙研究做出重大贡献的科学家、研究机构、著名的地面和空间实验等，都辟有专门条目，总数超过1000条。这个数字说明，作者在突出宇宙学的大前提下，相当全面地介绍了有关的天文知识，使读者基本上不用查阅他书，就能畅通无阻理解全书内容。在这个意义上，将本书视为一部‘天文小百科’亦不为过。

本书英文原版有很多疏漏性错误，译者尽可能做了改正，重要的还加了脚注给以说明。然而译者才疏学浅，未发现的原版错误和译文的不足在所难免，诚恳欢迎读者指正。如果这本中译本能够引起我国读者对宇宙的真正关心和兴趣，并进而推动一部分青年学子投身于宇宙探索，那将是译者最高的愿望和最大的快乐。

中国科学院北京天文台（2001年正式改组并人国家天文台）的资深研究员邹振隆教授仔细阅读了中译本的初稿，提出了许多宝贵意见，纠正了一些错误，使译文增色不少。在此对他表示深深的感谢。当然，他不应对仍然可能存在的任何错误负责。

导言

我们来自何方?

宇宙是如何诞生的?它怎样成为现在这个样子?为什么它是我们人类这种生命形态的合适栖息所?这些关系我们起源的历史激起了每个人的好奇心。'我们来自何方?'这个问题是人类可能提出来的最深奥的问题,而对此问题能够给予大致完整的回答,应该说是人类思维的最伟大成就。

我们所有关于宇宙万物的知识实际上来源于研究电磁辐射——光、射电波[①]、X 射线和其他形态的辐射,所有这些辐射都以 300,000 公里每秒的光速传播。虽然这个速率很高,但宇宙本身很大,致使光和其他形态的电磁辐射需要经历很长时间才能从其他恒星和星系到达我们这里。即使是一颗近邻恒星,它的光在到达地球之前也要旅行好几年,所以我们看到的这颗星是它几年前光线离开它时的样子。在宇宙的更远处,我们可以探测到星系和类星体的光,这些天体是如此遥远,它们的光在奔向我们的空间旅途上要度过几百万、几亿,有些甚至是几十亿年的时光,我们看到的是这些天体在如此久远以前、当宇宙相应地比较年轻时的样子。

观测受到的限制是这些遥远天体的光到达我们这里时非常微

---

① 天体发射的无线电波的天文学名称。通过射电波研究天体的学科叫做射电天文学。——译注

弱，只有用威力强大的望远镜和高灵敏的电子探测器才能分析它。但观测使我们在空间上扩大视野的同时，确实在时间上让我们回溯到过去，从而能看到宇宙过去的样子，得出有关宇宙曾经如何演化的概念。这是观测的巨大优点，它在很大程度上弥补了上述限制。整个宇宙学最关键的发现是，我们看到的我们周围的宇宙确实是在演化着——现在的宇宙不同于它的过去，它必定是在某个确定的时刻起源的。但是，实际上，要得出这些结论，你既不需要大望远镜，也用不着高灵敏电子探测器——你需要的全部东西，是用你自己的一双眼睛看到的证据。

最基本的天文观察现象是日夜交替。虽然这一现象的重要性要到 18 世纪才被人们意识到，虽然到了 19 世纪才对它做出解释，而且这一解释直到 20 世纪 80 年代才被广泛理解，但单是这个观察现象就足以说明，宇宙是在过去某个确定时刻起源的，宇宙并不总是我们今天看到的这个样子。

根本问题起因于夜天空的昏暗——一个昏暗的宇宙怎么会充满了明亮的恒星呢？这个问题现在称为奥伯斯佯谬，是以德国天文学家海因里希·威廉·奥伯斯（Heinrich Wilhelm Olbers）命名的，尽管实际上奥伯斯并非第一个深刻思考这个困难问题的人。简单地说，这个问题令人困惑之处是，如果宇宙是无穷大的，即在所有方向都延伸无穷远，而且如果宇宙的每个区域平均说来与我们生活其中的区域相似，那么在我们观察的每个方向，我们的视线都应该与一颗恒星的表面相交。夜天空的每个点都应该是明亮的！

现在我们知道，恒星聚集成类似我们自己的银河系那样的星系——宇宙之岛。每个宇宙岛可以包含数千亿颗恒星；但上述‘佯谬’可以很容易地重新加以表述来适应这种情形。我们也知道，即使宇宙并非无穷大，它也肯定足够大，使得这个难题同样令人困惑——如果我们今天看到的星系在宇宙中处处永久存在的话。

难题的解决是直截了当的，但却要求人们在对宇宙的看法上来一次革命。答案很简单：恒星和星系并非永远存在——愿意的话也可以说，从宇宙诞生以来，还没有足够的时间把光线洒满恒星和恒星之间的全部昏暗空间。单单是夜天空的昏暗就足以告诉我们，宇宙有其确定的开端。

对于在宇宙诞生于一次大爆炸的思想教导下的当代人来说，这个回答看来是显而易见的。但是，对奥伯斯佯谬的认真讨论要到宇宙膨胀发现几十年之后才出现，这个事实却标示这一思想具有何等的革命性。是宇宙膨胀的发现迫使天文学家放弃了宇宙永恒不变的观念，并开始思考宇宙自身的演化问题。

宇宙膨胀是在 1920 年代末，当美国天文学家埃德温·哈勃 (Edwin Hubble) 及其同事确立了星系正在彼此分开的观测事实，而被发现的。现代宇宙学实际上是随着这一发现而发端的，而从发现宇宙膨胀到本书发表，经历了几乎正好整整一代人的一生，就是俗话所称‘古稀之年’的 70 岁。70 年前，宇宙永恒不变的思想曾经是‘显而易见’的科学真理，它是那样地无可怀疑，以致当阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）开始发展其广义相对论并发现最简单形式的方程式要求宇宙膨胀时，他给方程式增加了一个附加项以维持宇宙静止。后来爱因斯坦把这说成是他科学生涯中‘最大的失误’。

从所有这些得出的教训，并不是我们比 70 年前的天文学家远为聪明和深具洞察力；而是，如果连爱因斯坦都犯下那样的宇宙学失误，我们就更应该小心，不要根据表面现象认为我们对宇宙已经知道得很多了。我们看来显而易见和经验的东西，再过 70 来年就可能像宇宙永恒不变的观念那样成为过时的笑柄。但这并不是说，我们不应该认真看待当前有关宇宙及其起源的认识。恒星和星系以及宇宙的结构今天已经了解得很清楚了，问题是能将我们对宇宙的正确理解推广到宇宙的多大范围（以及在时间上能回溯多远），而推测将在何处（以及在何时）开始起主要作用。这

个界线应该是在很久很久以前、在比我们能够猜想的远为极端的条件之下。

如果星系正在互相离开，那就必然意味着它们以前彼此靠得比较近。关于膨胀宇宙的很重要的一点是，星系并不像炸弹爆炸后的碎片那样在空间穿行，而是空间本身在伸展而带动了星系（这就是广义相对论的预言，但一开始曾被爱因斯坦拒绝接受）。很久以前，在现在已经成为星系的东西之间是没有空间的，星系必定是彼此重叠的；在那之前，在现在已经成为恒星的东西之间是没有空间的，恒星必定彼此接触；而在那之前，一定出现过原子之间没有空间的时期，原子彼此融合在一起。

天文学家对恒星和星系了解很多，物理学家对原子也了解很多，天体物理学家能够毫不困难地描述物质和辐射浓汤的性状，它是如此浓密，以致其中个别原子彼此并合，原子的外层电子已被驱逐，暴露出了原子心脏部分的核。这样一种由核子和电子混合成的浓汤，加上辐射，称为等离子体。但这还不是我们对极端条件下的物质和辐射的全面理解的极限。确实，在粒子加速器实验室（如日内瓦欧洲核子研究中心或芝加哥费密实验室）进行的实验，提供了洞察原子核自身以及构成原子核的质子和中子的行为的线索。物理学家告诉我们——并以令人信服的证据支持他们的宣告——他们甚至懂得了物质致密到核子本身都紧靠在一起并且分裂成它们的组成部分时的极端条件下，物质、空间、时间和能量的表现。

物理学家还做出了更加大胆的宣告，说他们懂得了比这还远为极端的条件下将会发生的事情，不过这些宣告并非总是得到可靠证据的支持。到这一步，推测开始在他们的宇宙学思想中起作用了，这种作用开始时是适度的，随着他们考虑更加极端的条件而变得重要起来。我们了解原子核、质子和中子，因为所有这些事物存在于今天的宇宙之中，并能在各种不同类型的实验中直接加以研究。所以，当物理学家宣称他们真的能告诉我们整个宇宙

像今天的原子核那样致密时发生的事情，并且告诉我们宇宙怎样从这种热而致密的状态（大爆炸本身）演变成我们今天所见的星系、恒星、行星和人类的集合体时，人们表示相信就并非过于脱离现实了。确实，很多物理学家会认为，我们的眼光如此短浅，我们声称对宇宙的真正正确理解‘只’是从宇宙具有核子密度的时期延续到今天，这在20世纪90年代后半段，是过于谨慎保守了。很好；不过在这个话题上还是保守一点好。那么，什么时候整个宇宙处于这样一种致密高温状态呢？什么时候发生了大爆炸呢？

如果我们想像将宇宙的当前膨胀进行‘回绕’，那就意味着我们所知的宇宙中的一切——空间、时间、物质和能量——是在大约150亿年前从一个密度无穷大而体积为零的点（奇点）显露出来的。确切的时间未知，因为宇宙膨胀的细节是难以测量和解释的。但这并不重要。重要的是，膨胀表明，大约略早于或略迟于150亿年前存在过超密状态，这种超密状态在极端条件下看来是从一个奇点起始的。所有这些都得到了广义相对论方程式的支持——但没有人相信实际发生的情况与这一模一样；量子物理学效应在接近奇点时应该居于统治地位，并且保证这个假想的数学点通过某种叫做量子测不准的过程而实际上被抹掉。

在靠近奇点的地方究竟发生了什么事以及量子过程如何导致了大爆炸，这个问题是当前宇宙学思考中的最重大问题之一，而为了回答这个问题所做的尝试则构成了今天宇宙学中的大量研究的基础。但我们不必马上操心这些事。现在我们感兴趣的那些条件，比如我们从日常事物物理性质得到的完全坚实可靠的知识仍然能够应用的最早时刻和地点，是在奇点代表的时刻——有时叫做‘创造时刻’或‘宇宙创生’——之后万分之一秒（0.0001秒）的时候发生的。天体物理学家觉得已掌握了所涉及的科学的全部，因而完全自信地谈论最初万分之一秒后发生的每件事；描述宇宙随后的演化时所遗留下来的不确定性不过是我们对宇宙的

观察不完美，以及我们应用已知物理定律描述复杂系统的能力不完美的结果。在那之前，返回到创造时刻为止的那段时间仍然部分地是一个谜，这不仅仅是因为我们应用物理定律的能力不完美，而且也因为我们并不确切知道在那种极端条件下运行的物理定律是什么。

但是，按照日常标准，存在于创造时刻之后万分之一秒时的条件是足够极端的了。在那时，宇宙的密度是10^{14}克每立方厘米(水密度的100万亿倍)，温度是绝对零度之上1万亿度（10^{12}K，对于如此大的数值，它基本上等于10^{12}℃），而宇宙是由一个热辐射的火球组成。

在这样的极端条件下，单个的粒子（如质子、中子和电子）很难独立存在。火球辐射的单个光子（‘光的粒子’）在那样高的温度下携带着极大的能量，以致它们能够按照爱因斯坦的著名公式$E=mc^2$，以能量换取质量，将它们自己转化为粒子对。由这种方式生成的一对粒子几乎总是由一个常见的粒子（比如质子）和一个与它对应的反物质粒子（在所举例子中为反质子）所组成。当一个粒子与一个等价的反粒子相遇时，这一对粒子就湮灭，并以辐射的形式交还构成它们的能量。在大爆炸中，辐射不断地转化为物质，物质也不断地转化为辐射，形成一种沸腾动荡的活动场面。

但是，随着宇宙火球的膨胀和冷却，火球中的个别光子拥有的能量越来越少。很快，它们就不再有足够的能量来制造质子和中子了。如果由辐射到物质－反物质对的转化一直是精确的，那就应该意味着，冷却下来的宇宙应该含有完全相同数量的质子和反质子，也有完全相同数量的中子和反中子。在那样的极端条件下，用不了多久，每个粒子都该碰上它的反粒子伴侣而湮灭，给冷却的宇宙留下来的除辐射外没有任何东西。但是，由于物理定律的微小不平衡［其重要性在1960年代首先被苏联物理学家安得列·萨哈罗夫（Andrei Sakharov）正确认识］，在这一过程的结尾，

竟有少量多余的我们由之构成的那种物质存留下来——宇宙火球剩余辐射中每10亿个光子会多出一个普通粒子。我们今天看到的宇宙中所有东西就是用大爆炸火球中通过这种方式加工出来的十亿分之一的粒子（质子+中子）制造的。

到创造时刻之后百分之一秒的时候，事情稍稍平静些了。温度下降到开氏1,000亿度（10^{11}K），质子和中子尽管仍然受到它们游泳其中的浓密光子海洋的冲击，却不再能够从辐射中生产出来了。开始时，中子的数目与质子的数目相等，但与质子不同的是，中子是不稳定的粒子，每个中子（通过叫做放射衰变的过程）自发地放出一个电子而把自己变成质子。今天，这个过程与宇宙年龄不到一秒钟时宇宙中的变化相比是缓慢的。平均说来，一个孤立的中子将需要经历十多分钟才会发生这种衰变。但是，中子在宇宙火球中受到的冲击将助长这种变化。所以，当宇宙的温度降到开氏300亿度（3×10^{10}K）时，正好是在创造时刻之后1/10秒，中子对质子的比就从50:50降到了38:62。到宇宙冷却到开氏100亿度（10^{10}K）、即创造时刻之后1.1秒时，密度降到了水密度的38万倍，此时每76个质子才会有24个中子。但是，和我们大多数人一样，当宇宙变老时，它也变得行动迟缓，变化也不那么敏捷了。终于，早期宇宙中快速变化的步伐减慢到了可用几秒而不是几分之一秒的时间来量度的程度。

13.8秒钟以后，温度降到开氏30亿度，连续冲击中子的能量相应减少，中子转变成质子的速率也就急剧降低。此时宇宙中每83个质子仍然有17个中子；当一个单独的质子与一个单独的中子临时粘在一起，在它们被碰撞分开之前，火球中就偶尔形成了同位素氘（重氢）的核。正好在创造时刻之后3分零2秒钟时，整个宇宙的温度降到了只有开氏10亿度，这大约是今天太阳中心部分温度（约开氏1,500万度）的70倍，而每86个质子仍有14个中子。到这时，宇宙已经很老了，中子的自然衰变开始起重要作用。虽然一个自由中子的平均寿命长于10分钟，但相对于平均

寿命而言，有些中子存活时间稍长，有些则衰变较快。从现在起，每过 100 秒钟，10 个剩余的自由中子中就有 1 个自发地转变为质子。但是中子逃脱了被消灭的命运，因为正是在宇宙进入其生命刚刚超过 3 分钟的这个时刻，条件已经宽松到中子开始与质子结合而形成稳定的核，开始时是氘，然后是氦。核子相互之间以及与其他粒子之间仍在发生碰撞，但这时温度如此低，以致这些碰撞的能量已不足以打碎核子。留存下来的中子（每 87 个质子有大约 13 个中子）几乎立刻就被禁锢在氦－4 核内，每个氦－4 核含有两个中子和两个质子。转变成氦的中子和质子的总质量的份额正好是中子数目份额的两倍，即 26%，而这个过程到创造时刻之后 3 分 46 秒钟时就完成了。

在以上关于宇宙创生的描述中出现的具体数字并非信手拈来，而是将广义相对论（它告诉我们宇宙膨胀和冷却有多快）与地面实验得到的关于粒子（如中子和质子）及原子核性状的已知事实相结合推算出来的。这种结合造就了宇宙学的所谓‘标准模型’，它的伟大功绩之一就是预言了宇宙中最早形成的每颗恒星（这些恒星是我们今天看到的最年老的恒星）的 26% 的质量应该取氦的形态。这与用光谱学方法观测到的老年恒星中氦的实际数量准确符合。标准模型的另一个伟大预言是，宇宙应该充满了火球遗留下来的大量辐射。当创造时刻之后不到 4 分钟氦开始形成的时候，这一辐射的温度约为开氏 10 亿度，到 150 亿年以后的今天应该已经逐渐冷却到 3K 以下（正好低于－270℃）。1960 年代发现的宇宙微波背景辐射准确地与大爆炸理论的预言相符。因此，将宇宙的标准大爆炸模型看成现代科学皇冠上的宝石之一，是一点也不奇怪的。

膨胀的宇宙中一旦形成了氦，导致形成星系、恒星、行星和人类的那些过程看来就不可避免地开始了。这些过程的某些细节仍然不太清楚，这部分是由于它们代表着越来越复杂的现象——

宇宙学的最不可思议的方面之一就是，我们对大爆炸火球了解得很多，是因为这是一个按照我们了解得非常透彻的详细物理定律运转的很简单的场所，它涉及很少几种简单的粒子如质子、中子和电子。一旦你要同原子核打交道，你就要研究更复杂的事物；原子本身按照化学的规律相互作用，产生另一层次的复杂性；而生命本身则又涉及极端复杂的化学现象，以及原子和分子的某些复杂构造物（如人类）与它们的实际环境相互作用的方式。对于越来越复杂的系统，我们了解得越来越少。

直到今天的宇宙历史中不确定性的另一来源关系到宇宙中的暗物质的数量和本质。显然，宇宙中并非所有东西都取我们能用望远镜看见的明亮恒星的形态。确实，有可靠的证据说明，产生于宇宙火球的暗物质比质子和中子这种形成恒星、星系、行星和人类的核物质多数十倍。这种暗物质的影响可以从它对可见物质施加的引力看出来。没有暗物质，核物质应该已经随着宇宙的膨胀而扩散得更加稀薄，根本不可能聚集起来形成恒星和星系；多亏暗物质的引力的影响，我们才得以存在。

概括地说，关于我们如何来到这里的历史可以从大爆炸之后大约 30 万年的时候谈起。在那个时候，宇宙仍然是一团滚热的浓汤，其温度大约是 5,000K，这比今天太阳表面的温度稍低。宇宙的核物质主要是穿行于电子和暗物质海洋中的个别质子（氢原子核）和氦核。直到这个时刻之前，任何试图抓住一或两个电子以形成一个原子的核，都会很快与一个高能光子碰撞，后者将把它的电子剥去。由于每个核带有正电荷，每个电子带有负电荷，而光子又喜欢同带电粒子相互作用，这就意味着宇宙充满了与光子相互作用的带电粒子，从而使宇宙不透明。光子传播不了多远就会与带电粒子相遇、反弹从而走出一条古怪的曲折之路，就像疯狂的宇宙弹子机中的球一样。

然后，从宇宙学标准来看十分突然地，随着温度的降低，光子不再具备足够的能量来破坏试图形成的原子。每个质子俘获一

个电子，每个氦核俘获两个电子，于是所有带电粒子被禁锢在电中性的原子之中。不再有带电粒子使光子反弹，光子便基本不受阻碍地通过原子周围的空间，仿佛一夜工夫宇宙就变得透明了。正是大爆炸后几十万年的那个时候的辐射，静悄悄地在透明空间中流动至今，这就是我们今天探测到的背景辐射。

当原子形成时，它们已经聚集成巨大的物质流和膜，其密度高于平均值，并在宇宙中暗物质的引力作用下靠拢在一起。在以这种方式形成的巨大原子物质膜内部，尽管宇宙作为整体继续膨胀，大量的气体被引力拉到一起而形成围绕着原子物质空洞的膜。随着引力将气体聚集成更薄的膜，膜中形成了团块并依次收缩，破裂成更小的碎片，后者再依次收缩、碎裂（实际上并非真正一个接一个意义上的‘依次’；碎裂和坍缩在所有层次上都是同时进行的）。这样形成的最小碎片变成了居留在星系内部的恒星，星系则居留于超星系团内部的星系团之中。超星系团构成链条、纤维和膜状的发光物，使得可见物质像泡沫般随意分布在黯黑的宇宙空间中。

只有在好几代恒星以这种方式形成并走完其生命历程之后，才有可能形成太阳这样的恒星和地球这样的行星。首批恒星仅仅含有氢和氦。较重的元素，包括对我们所知的生命形态十分重要的碳、氧和氮的原子，是在恒星内部经由核聚变制造出来的，当首批恒星中的大质量、短寿命恒星在其生命完结时发生爆发时，这些元素就被扩散到年轻星系的巨大区域中。

太阳是在晚得多的仅仅大约50亿年前由这种恒星爆发的碎片形成的。诞生了太阳的特定坍缩气体云大概含有足够制造几百颗恒星的物质。当碎裂的云坍缩时，这些恒星就一起形成了，不过从那以后经过了它们各自的道路。那个云中的一个物质团块含有比现在的太阳稍多的质量，当团块在自身引力作用下坍缩时，大多数物质形成了一个热气体球，另一些则形成了围绕胚胎期恒星的物质环。年轻恒星的热量吹散了环中许多较轻的原子，留下一

个由微小尘粒构成的系统，尘粒逐渐粘到一起，聚集成团而形成行星。以后，由于生命出现并在至少一个这样的行星表面上进化，事情就涉及到地球物理学和生物学，而不是宇宙学和天体演化学了。

这个至今仍然困扰着许多天文学家的历史的最重要特征之一就是，虽然就我们所知的物理学定律来看这一切似乎合情合理，但物理学定律的运行方式只要有很小的改变，这一切就可能不会发生。这些定律曾经可能是不同的吗？例如，如果宇宙膨胀得稍稍慢一点，那么到它冷却到氦核得以形成时，就没有中子存留下来供制造氦核。如果膨胀稍稍快一点，就会存留大量中子，以致所有从大爆炸产生的核物质将取氦的形式，而根本不会有自由质子供制造氢。这两种情形都会使宇宙成为极为不同的场所。比方说，完全由氦构成的恒星将很快走完它的生命历程而迅速衰亡，大概没有足够的时间在任何围绕它的行星上进化出生命。

宇宙含有一些而非百分之百的氦，这个事实决定于引力和氦核形成所涉及的核力之间的平衡。引力决定了宇宙膨胀有多快，核力则决定了质子与中子结合生成氦核的速率。如果这种平衡稍有不同，我们就不会存在；所以，我们存在这个事实有助于搞清楚宇宙的某些性质和物理定律应该是怎样的。这是一个被称为人择理论或人择宇宙学的例子。这究竟是纯粹的老调重弹，抑或是能告诉我们关于宇宙运转方式的某些深刻而重要的东西，对此有过热烈的争论。

一个令人激动不已的可能性是也许存在另外的宇宙，那里的物理定律与我们的宇宙中的不同，而类似我们的生命形式不能存在。这使我们又回到了这样的问题：大爆炸之前、在宇宙存在的最初片刻、以及在创造时刻，曾经发生过什么？这是暴涨宇宙学的领域，是今天宇宙学中最重要、最引人注目的新发展。

大爆炸证据的搜寻工作于1992年春天结束，当时美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，简称宇航

局＝NASA）的天文学家们宣布了用宇宙背景探险者天文卫星（COBE＝Cosmic Background Explorer）对宇宙背景辐射的观测结果。这些观测消除了对我们所知的宇宙是从一个很热、很密的状态——大爆炸——演化而来的怀疑。但他们走得更远，背景辐射强度从天空的一处到另一处的细微变化——人们很快就称之为'涟漪'——准确地与1980年代发展起来的暴涨理论的预言相吻合。暴涨和热大爆炸的结合排除了某些人的理性怀疑而被确立为宇宙诞生的惟一可靠描述。

但这并不意味着宇宙学家不再有什么事情可干了，或关于宇宙诞生不再有什么令人激动的故事了。随着大爆炸理论的取得成功，人们现在转而关注宇宙是怎样和为什么首先达到热而密的状态——暴涨理论详情——的问题。在这个论题上已有了很多不同的见解，开辟了哲学家和玄学家展开真正科学辩论的最后一个园地，辩论的命题则是'时间本身是如何起始的'。

与大爆炸理论奠定了坚实基础的同时，宇宙学家越来越对宇宙是如何达到我们当前所见状况的细节深感兴趣。暴涨理论的预言之一是，宇宙应该含有大量的、比我们看到的明亮恒星和星系形态物质多得多的暗物质。我们已经指出，至少某些这类暗物质的存在已经通过星系运动的方式得到了揭示。专家们对暗物质究竟可能是什么展开了活跃的辩论，而地球上的实验家们正在他们的实验室中试图抓住暗物质的粒子。

另一个长期未获解决的难题是哈勃常数的准确数值。哈勃常数是量度宇宙现在膨胀有多快的数字。测量这个也能表示宇宙年龄的参数仍然极其困难，现今的估计值大致介于50公里每秒每百万秒差距和80公里每秒每百万秒差距之间。

所有这些关于大爆炸细节的争论有时被媒体炒成活像这些不确定性危及到大爆炸本身似的。比如，如果哈勃常数真的大到80公里每秒每百万秒差距，宇宙模型的最简单版本就会说从大爆炸以后经历的时间将短于100亿年。这是令人为难的，因为已知很

多恒星都比这更年老。显然，宇宙不可能比它包含的恒星更年轻！然而即使哈勃常数的这个测量值被证明为正确，那也不会宣判大爆炸理论的死刑。宇宙模型的较精细版本能十分容易地适应这样大的哈勃常数值并保持宇宙年龄大于它的最年老恒星的年龄。如果一个理论的最简单版本也能成为现实的合理描述，那总是美妙的。但我们从日常经验知道，事物恰恰不是那样。所以，为什么宇宙就应该如此简单呢？正如理查德·费恩曼（Richard Feynman）指出的，最简单的东西什么也不是，自然界的创造力比这要大得多（参见布赖恩·哈特菲尔德编《费恩曼引力讲座》，阿迪森－韦斯利公司 1995 年出版）[1]。

一种可能是我们太偏狭了，我们所处的宇宙一角尽管可能广达数十亿光年，却仍然没有大到足以提供认识宇宙全貌的可靠指导。困惑于宇宙比它含有的恒星更年轻这个表面现象的宇宙学家们所犯的错误，可能不过是太多地着眼于宇宙中贴近我们的周围事物。根据中国一个研究组的观点，问题在于我们生活在一个对宇宙整体来说并非典型的低密度泡中。当在足够大尺度上完成了适当的测量之后，一切都将各安其位。

宇宙学家研究的各种尺度远大于恒星之间的距离。他们感兴趣的是星系团之间的距离，他们把我们银河系这样由数千亿颗恒星构成的整个星系看成不过是全部宇宙中的一个‘试验粒子’而已。他们测量宇宙尺度的努力，颇像立足于一个小岛却试图测量广阔太平洋中群岛的分布——宇宙膨胀时，每个小岛都在远离其他所有小岛，这使情形更加复杂了。

宇宙学家至今尚未深入考虑过的关键问题是，我们能够在其中进行这种测量的宇宙区域究竟有多大的代表性。就像假想的太平洋岛民，在绘制已知‘宇宙’的图时，却可能不知道大洋两岸存在大陆，所以我们的局域空泡也许不能给我们提供足够信息来预言整个宇宙的行为。1995 年，北京天文台的武向平（Xiang-Ping Wu）及其他几位同行认为情况正是这样。

他们指出，虽然对宇宙的这类研究扩展到了几亿光年以外，但如果我们分别分析对不同距离的星系团进行的测量数据，而不是把所有数据放在一起求出一个平均数的话，就会看到宇宙物质密度随着我们观察的距离而增大。在大约3千万光年尺度上，密度只有临界值的10%，而在3亿光年尺度上却可高达临界值的90%。

由此得到的直接推论是，在新近用哈勃空间望远镜进行宇宙膨胀测量的尺度上，膨胀速率（由哈勃常数给出）比总平均速率高出40%之多，这几乎与将宇宙年龄从大约80亿岁提高到120亿岁以匹配最老恒星年龄所需的改正值准确一致。按照宇宙学的说法，这大概是我们的太平洋岛民刚刚发现了美洲。

但是，不管我们生活其中的空间体积对宇宙整体而言是否具有典型性质，当我们考察进入21世纪后宇宙学的发展道路时，暴涨理论看来肯定将独领风骚。量子物理学和宇宙学的婚姻可以说已经因COBE天文卫星的发现而达到了幸福的顶点。后来的空间和地面实验完成的其他观测证实并完善了这些发现。由宇宙涟漪的发现做了回答的关键问题是，像星系和星系团这样大的无规则事物从大爆炸火球中浮现以后，怎么竟能够在宇宙中成长。涟漪对应的天空各处背景辐射的温度涨落只有开氏百万分之三十度，这代表着这类测量的惊人成就。但这样大小的涨落对应着物质和辐射解耦时期宇宙中不同地点的密度差异，恰到好处地让我们在今日宇宙中看到的时间跨度达数十亿年的不规则结构得以发育成长。

最精彩的是，暴涨能够告诉我们，这些在解耦时代看到的不规则性是来自何处。在我们称之为暴涨的快速膨胀瞬间，根据理论，量子过程应该已经创造了宇宙结构中的细小畸变。暴涨接受了这些量子不规则性，并把它们放大到星系团的规模。COBE卫星测量的宇宙涟漪的特征正好与通过这种方式应该产生的畸变性质符合。

这一成功给人特别深刻的印象，因为暴涨理论的提出本来不是为了解释星系来自何处。暴涨理论发展的动力源于20世纪70年代天文学家开始关注的两个难题。第一个叫做视界问题，简言之就是，宇宙在所有方向看起来是一样的——特别是天空相对两边的背景辐射温度是一样的。可是，天空相对两边的区域怎么能知道如何保持彼此步伐一致呢？须知自大爆炸以来，光（或其他任何东西）还没有来得及通过整个宇宙然后返回。第二个难题关系到暗物质的存在，那就是宇宙极其接近于平坦，也就是说宇宙正好处在永远膨胀和将在某天坍缩这两者之间的分界线上。

平坦性问题可以从宇宙的密度来理解。密度参数是宇宙中有引力作用的物质数量的量度，通常用希腊字母奥米伽（Ω）表示，也叫做平坦性参数。它的定义是，如果时空完全平坦，则 $\Omega = 1$。在暴涨思想得到发展之前，宇宙学中最大难题之一是今日宇宙的密度很接近这个临界值——相差决不会超过10倍。这是奇怪的，因为宇宙从大爆炸膨胀开来时，膨胀将把密度参数推离临界值。如果宇宙从密度参数小于1的时候开始，Ω将随宇宙年龄的增大而变小；而如果宇宙从密度参数大于1的时候开始，则Ω将随宇宙年龄的增大而变大。今天的Ω在0.1和1之间，这个事实表明在大爆炸的最初瞬间，它准确地等于1，误差不超过 10^{60} 分之一。这使得开始时的密度参数值成为整个科学中确定得最准确的数字之一，因此可以很自然地认为它等于而且一直总是准确地等于1。一个重要的结论是，宇宙中必然存在大量暗物质。另一个重要结论是，宇宙因暴涨而成为平坦的。

事情是这样发生的。在宇宙存在的最初瞬间，我们今天能够看到的一切曾被压缩在一个比今天的单个原子核还要小的区域内。高温火球是如此之小，使得光子毫无困难地以光速交叉穿过火球，将一切抹平成为一种均匀状态。但在这些条件下，与我们今天知道的各种自然力（引力、电磁力和作用于核子内部的两种

力）的发展相伴随的量子过程起过某种反引力的作用，迫使胚胎期的宇宙极快地膨胀。这种膨胀在短短一瞬间就把极小的火球吹胀到至少篮球那么大，也可能更大得多；并在无法用任何常用钟表计量的极短时间内使宇宙大小加倍数百次。然后，暴涨停止，取而代之的是前面简要介绍过的标准大爆炸模型所描述的比较平静的膨胀。

关键点是，在暴涨期间，宇宙中相对的区域在某种意义上‘比光更快’地被炸开。没有什么东西能够在空间传播得比光更快，但空间本身却能够这样膨胀，携带着本来彼此真正接触的区域超出了光的通讯范围。这就是为什么宇宙的相对两边今天仍然具有相同的温度——它们开始时就是一样的，而从宇宙诞生后的最初瞬间以来它们甚至还没有彼此‘联系’过。这个可怕的膨胀也保证了时空成为高度平坦的，很像满身皱纹的梅干在水中浸泡、胀大后，它的表皮会变平滑一样。

暴涨成为今天宇宙学研究中最激动人心的领域的原因是，导致宇宙学难题得到戏剧性解决的量子理论的思想，是完全从被称为大统一理论（GUT）的粒子物理学研究中得到的。发展了GUT的物理学家们没有想到这些理论能够用于描述宇宙创生；然而这些理论在解决那些他们从未考虑过的问题时取得了极大成功，这一事实被认为强有力地证明，它们正在揭示的是关于宇宙运行方式的某种具有基本重要性的东西。

量子理论甚至能够解释通过暴涨产生了我们宇宙的原始种子的起源——所谓的‘量子涨落’使这种能量极高而又极其细小的区域从空无一物之中真正出现，使得宇宙成了名言所说的‘最后的免费午餐’。另一种可能性是，当物质坍缩成黑洞、形成类似产生了我们宇宙的奇点时，暴涨可能创造出新的婴儿宇宙。按照这个图景类推下去，我们自己的宇宙也许是在一个既没有开始也不会有终结的密网中，从另一个宇宙中的黑洞形成的。

随着暴涨宇宙学家为了更好地说明我们周围的宇宙而在他们

的模型中添加了铃声和哨声，暴涨的简单明了的原始图景已经不可避免地开始被这些改进搞得难以理解了。应该说，关于铃声和哨声的某些研究只不过是开玩笑。现在在斯坦福大学工作的安得列·林德（Andrei Linde）在 1990 年代是暴涨理论的主要支持者，他总是喜欢把暴涨理论推向极致，提出各种有关宇宙构造方式的新鲜见解。例如，我们的宇宙能否存在于宇宙暴涨产生的单个磁单极的内部呢？按照林德的观点，这至少是可能的，甚至可能真是这样。有点可笑的是，在罗马举行的一次讨论宇宙诞生的会议上，像通常那样提出了有关宇宙的相当不同的观点，而林德在其报告中宣布了他的这个荒谬的见解。

理论家把暴涨思想提到首位（与视界问题和平坦性问题并列）的其他理由之一，恰好是为了摆脱磁单极——这是许多大统一理论预言存在但从未在自然界中发现过、携带着孤立的磁场北极或南极的奇怪粒子。标准暴涨模型解决‘磁单极问题’的论点是，发育成我们整个可见宇宙的种子是一个量子涨落，它非常小，只含有一个磁单极。那个磁单极仍然存在于宇宙的某个地方，但非常可能永远不会同我们相遇。

但是林德发现，根据理论，即使暴涨已经在整体宇宙中停息，引起暴涨的条件仍然继续存在于一个磁单极的内部。这样一个磁单极就像带磁荷的黑洞，它通过时空中的虫洞将我们的宇宙与暴涨时空的另一个区域连接起来。在这个暴涨区内部，量子过程能产生磁单极－反磁单极对，然后这些磁单极对由于暴涨而按指数率迅速分开。然后是暴涨停止，留下一个颇像我们自己这个宇宙的、可能含 1～2 个磁单极的膨胀宇宙，而每个磁单极内部则有更多的暴涨时空区。

结果形成一种暴涨宇宙嵌进彼此内部并通过磁单极虫洞连接起来的永无穷尽的套叠结构。我们的宇宙可能在一个磁单极中，后者又在另一个宇宙中，后者又在另一个磁单极中，依此类推，以至无穷。林德所称的‘指数律膨胀空间的连续创造’意味着

‘磁单极本身能够解决磁单极问题’。虽然这看似稀奇古怪，林德则强调这个思想是‘如此简单，因而肯定值得进一步研究’。

对命题的如此论证实际上是为了好玩，而且很难看出怎样才能将它与现实宇宙的观测结果相比较。不过，目前对暴涨理论的大多数修正都是为了响应新的观测，特别是为了响应时空终究可能不完全‘平坦’这一看法，而提出来的。在1990年代中期，很多的研究（包括用整修过的哈勃空间望远镜做的观测）开始表明，宇宙中的物质可能没有多到能使它完全平坦——大多数观测显示只有暴涨理论最简单版本所要求的数量的大约20%或30%。初看起来，这一短缺是令人为难的，因为广为传播的简单暴涨理论预言之一是坚决要求物质密度要准确达到临界值的100%。但有很多方法可以绕过这一困难，下面介绍其中的两个。

第一个方法从哥白尼（Copernicus）之后天文学的发展来看几乎是异端邪说。我们是否可能正居留在宇宙的中心附近呢？几百年来，天文学的历史已经把人类从所有特殊位置赶走。首先是发现地球绕太阳公转，然后发现太阳只是我们银河系的一个毫不起眼的成员，再后来银河系也被定位为宇宙的一个普通成员。可现在却提出我们这些观察者的‘普通’位置可能处在膨胀空间中一个大得多的泡泡的中央。

暴涨理论的常规版本指出，我们的整个可见宇宙不过是许多暴涨泡中的一个。每个泡在永恒的混乱暴涨海洋的某处各行其是，但快速膨胀过程迫使所有泡中的时空成为平坦的。这与打开盖的一瓶嘶嘶作响的可口可乐中发生的气泡极为相似。不过这样一种看法，还有其他一些受人喜爱的宇宙学信念，如今面对着来自林德和与他合作的儿子德米特里·林德（Dmitri Linde）（在加州理工学院）以及亚瑟·梅支鲁米安（Arthur Mezhlumian）（也在斯坦福）的挑战。

林德及其同事们指出，我们生活其中的宇宙大概是按指数律

膨胀的超密态暴涨宇宙物质海洋中的一个洞，而海洋中还有其他的洞。泡宇宙将取各种各样的存在形式，它们的统计性质也有可能推算出来。特别是，两位林德和梅支鲁米安已经计算了你自己出现在这个超宇宙中具有特定密度——比如'我们'的宇宙的密度——的区域中的概率。

由于非常密的区域按指数律快速扩大（每经过不到一秒钟其大小加倍），结果得出，超宇宙中密度两倍于选定密度的所有区域的体积是具有选定密度的超宇宙的体积的一亿亿倍。对任一选定密度，大多数具有这一密度的物质处在一个膨胀泡的中心附近，更密的物质则聚集在泡的边缘。但即使有些较高密度物质位于低密度泡的边缘，却有更多（多得多！）的较高密度物质位于较高密度泡的中央，依此无限类推下去。

这种形态套叠结构的发现大大震惊了这些研究者，驱使他们在向同事们冒失宣布之前，用了四种独立方法来验证它。由于在合适距离尺度上密度分布不均匀，这就意味着我们不仅可以居住在一个泡宇宙的中心附近，而且我们看见的这个空间区域的密度可以低于临界密度，作为补偿的是我们视野之外的附加密度。

这是很合时宜的，因为哈勃空间望远镜的一些观测已经表明，精确要求临界物质密度的宇宙模型可能陷于困境。但还不止此。哈勃空间望远镜的一些观测结果是以哈勃常数，即量度宇宙目前膨胀速率的参数，真正是一个在可观测宇宙中处处相同的常数为其前提条件的。然而，如果林德研究班子的观点正确，这个'常数'的测量值就可能随星系到我们的距离不同而不同。真有点像虎入羊群般乱了套。看来，我们可能是居住在一个低密度宇宙中，在那里，测量的密度和哈勃常数值两者，都取决于这些测量是在多大空间中进行的。如果不是中国人那极具魅力的观测表明我们周围的宇宙确实如此的话，这一切简直就像一位热心过度的理论家狂热的想像。

这意味着，很多颇有希望的宇宙学观点必须抛弃。对许多宇

宙学家来说，尽管存在观测证据，这可能仍然是难以接受的。但有一个比较简单的解决密度难题的办法，它只须对暴涨模型进行修补，而不必触动那些长期倍受青睐的宇宙学信念。它可能让大多数宇宙学家更容易接受。这个办法极其简单，人人听后可能都会说‘我怎么就没有想到？’

两次暴涨可能使人绞尽脑汁也难以理解，但也可能正是宇宙学家为拯救他们偏爱的宇宙起源理论所需要的东西。通过发动两次暴涨，他们已经找到了一条途径，使得既能享有暴涨理论的全部利益，又让宇宙仍然处于‘开放’状态从而永远膨胀下去。

最简单暴涨模型的巨大困难是，暴涨之后留下的可观测宇宙是一大群各自为政膨胀着的泡。这种结构导致基本模型改进而保证了均匀性，可我们看不见这种结构的任何性状。而现在，普林斯顿大学的马丁·布克尔（Martin Bucher）和尼尔·吐洛克（Neil Turok）及他们的合作者、纽约州立大学的阿尔弗雷德·戈德哈伯（Alfred Goldhaber），却把这个困难变成了优势。

他们认为，原始暴涨使宇宙成为平坦的以后，在这些泡的某一个的内部可能发生了第二次暴涨。当暴涨（基本上是从一个点）开始时，密度实质上‘复位’为零，并随着暴涨的继续及暴涨过程的能量转变为质量而向临界密度攀升。但是，由于膨胀成宇宙的那个泡已经是均匀的，就不必要求这一次的暴涨持续到密度达到临界值。它可以稍稍早些停止，留下一个开放的泡（就像我们看到的整个可见宇宙）以较为平静的速率继续膨胀。

根据布克尔及其同事们的研究，通过这种方式，不必对暴涨参数做任何‘微调’，就能自然地形成十分类似我们居留其中的宇宙的最终产品。他们所做的一切只是采用了暴涨理论的最简单版本，不过把它应用了两次。但我们不必就此停步不前。一旦膨胀时空的任何部分被暴涨所平滑，产生于那个时空部分内部的新暴涨泡将全部被预先抹平，最终它们可以含有任意数量的物质，

密度从零到临界值（但不能更大)。这足以让人人感到满意。确实，现在的最大问题是宇宙学的词汇，对于描绘这全部活动来说，已经不太够用了。

以大写字母'U'开头的'宇宙'一词[①]，通常指我们能够有所知晓的所有事物，即现在和将来用我们的仪器能够感知的空间和时间总跨度。这个定义可能是相当全面的，在过去，它传统上被看成是全部存在事物总体的同义语。但暴涨这类思想的发展，提出了在可观测宇宙边界之外可能有着某种别的东西——原则上不可观测的空间和时间区域，这并不是因为它们发出的光还没有到达我们这里，也不是因为我们的望远镜不够灵敏而探测不到它们的光。

这在使用'宇宙'一词时造成了某种不明确。有些人将它局限于可观测宇宙，另一些人则认为应该用于指全部空间和时间。如果用'宇宙'命名我们自己的膨胀时空泡，即我们的望远镜原则上能够看到的所有事物，那么'大宇宙'一词[②]也许可用来表示空间和时间总体。大宇宙中（如果暴涨理论是正确的）可能有无穷多个其他的膨胀时空泡，也就是我们永远不能与之联系的其他宇宙。宇宙学家总该对这个建议感到满意了吧，因为它把这个学科无限扩大了，因而它的重要性也无限增加了。正是本着这种精神，我们奉献给你的，就不单单是漫游宇宙的向导，而是认识整个大宇宙的指南。

① 指英文词'Universe'。——译注

② 指英文词'Cosmos'。'Cosmos'的现有正式中译名也是'宇宙'。在汉语天文词汇中，还没有不同于'宇宙'的词与'Cosmos'对应，所以权译为'大宇宙'，以与'宇宙'相区别。——译注

致 读 者

本中译本保持英文原版的条目顺序，熟悉英文的读者因而能像查英文词典那样，很容易从页眉上的英文标题查到所需条目。

不熟悉英文的读者，可按照书末条目检索提供的指导，根据汉语拼音或汉字笔画进行查找。

条目正文有选择地引用与当前条目直接相关的其他条目，这时被引用条目加有单下划线。

有些外文名词，特别是仪器设备、实验、计划和研究机构的专用缩写名称，早已成为国际通用，在中文天文文献中亦常以外文出现。本中译本涉及的这类名词，在相应条目均有解释，且大多数都给予了中文名称，但在行文和交叉引用已译成中文的条目标题时，也常按惯例采用外文名。凡遇此类外文名而一时想不起中文名、或不识其意义、或按交叉引用的外文找不到该条目时，可查阅书末条目检索第三部分的外文－中文名词对照表。

参考书目的编号，前50本是它们在正文中首次出现的顺序，后9本是随意的，因为它们在正文中未提及。正文提到参考书时用中文名，其右上角方括弧内给出该书在参考书目中编号。

科学上有些东西是深具魅力的。
少许微不足道的事实可以引出一大堆猜想。

——马克·吐温，《在密西西比河上》

COMPANION TO THE COSMOS

几乎每个人都对诸如大爆炸和黑洞等等概念感到入迷，我们都想知道自己是生存在一个怎样的时空里——一切是如何开始的，又将如何终结？ 对每一位对周围世界感兴趣的人来说，本书是不可缺少的友善的向导。作者是大名鼎鼎的约翰·格里宾，英国杰出的科学普及者和获奖作家。他在本书开篇的相当全面的导言中陈述了当前学科状况，正文部分包括了主要论题的详细介绍、短条目和科学家小传，最后部分则列举了宇宙学的发现以及人类通史和科学史上的重要年代。

作者简介

约翰·格里宾

约翰·格里宾获得剑桥大学天体物理学博士学位，现为苏塞克斯大学客座研究员和《新科学家》杂志顾问。他写了很多畅销书，其中包括《薛定谔的猫》、《奥米伽点》、《大爆炸探秘》、《宇宙的发端》、《迷人的科学风采——费恩曼传》和《薛定谔的小猫》。他的书已经翻译成很多语种，在英国和美国都获得过奖励。他也撰写科幻作品。约翰·格里宾现与妻子玛丽（也是一位科普作家）和他们的两个儿子住在苏塞克斯。

COMPANION TO THE COSMOS



《寻找薛定谔的猫》

一部无与伦比的科普著作　揭开量子物理的神秘面纱

封面装帧■策叁工作室

目　录

译者前言 …………………………………………………… (1)

导言　我们来自何方? ……………………………………… (1)

致读者 ……………………………………………………… (22)

A－Z 条目正文 …………………………………………… (1)

参考书目 …………………………………………………… (454)

引用图片鸣谢 ……………………………………………… (458)

大事年表 …………………………………………………… (459)

条目检索 …………………………………………………… (594)

　第一部分　条目标题 …………………………………… (595)

　第二部分　汉字开头条目标题首字检字表 …………… (622)

　第三部分　外文－中文名词对照表 …………………… (632)

附　录 ……………………………………………………… (635)

　希腊字母 ………………………………………………… (635)

　国际通用星座 …………………………………………… (636)

A

AAT **英澳望远镜**=英国－澳大利亚望远镜。

aberration **光行差**，光的有限速率和地球沿着绕太阳的轨道运动引起的恒星位置的视位移。在一年内，恒星似乎围绕它的平均位置走出一个小椭圆。这个现象在1729年由詹姆斯·布拉德雷（James Bradley）发现，并被他用来测量光的速率。

absolute magnitude **绝对星等**，恒星或其他天体假定距离观测者正好10秒差距时所应该有的视星等（见星等标）。

absolute zero **绝对零度**，可能达到的最低温度。在绝对零度下，原子和分子拥有量子理论允许的最小能量。绝对零度就是开尔文温度标（简称开氏温度标，记为K）定义的零点；0K等于－273.15℃，而开氏温度标的一个单位与摄氏1度的大小是一样的。

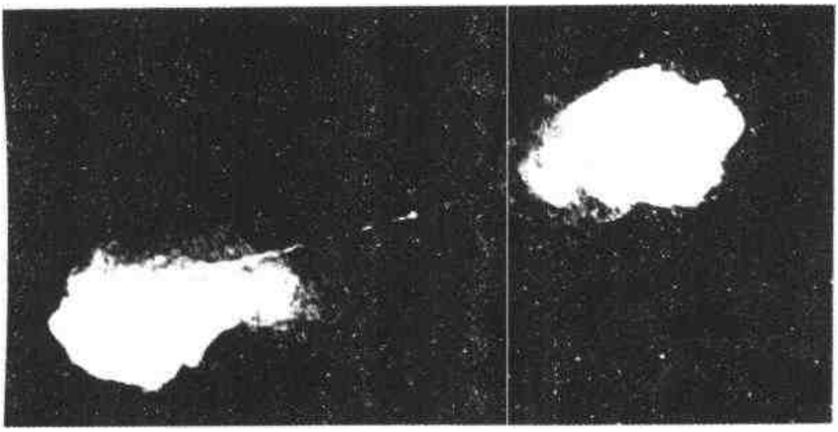
absorption line **吸收线**，波谱中与特定波长电磁辐射的吸收相对应的狭窄特征。波谱中的吸收线分布图样相当于吸收辐射的元素的鉴别指纹。

absorption nebula **吸收星云**，太空中的冷气体尘埃云，只因为它阻挡更远恒星的光而能被发现。见星云。

abundance of the elements **元素丰度**，见宇宙丰度。

accretion **吸积**，宇宙中有两类吸积是重要的。第一类是小颗粒互相碰撞并粘在一起以形成较大物体的过程。碰撞必须‘恰到好处’才能发生这种情形——如果碰撞过于猛烈，就会击碎物体（撕裂）而不是让它们粘在一起。当太阳从空间一个气体尘埃云中诞生，并在自身引力作用下坍缩时，年轻太阳周围形成了一个向赤道平面沉降的物质盘。这很像我们今天看到的土星环在更大规模上的翻版。太阳系中的行星和其他天体，就是在这个开始时由大小不超过1毫米的细小颗粒构成的旋转物质盘中，通过吸积而形成的。

第二类吸积是大质量天体通过其引力场的吸引从周围获取物质的过程。像我们太阳这样的普通恒星就在不断地从星际空间吸积物质，不过规模很小。拥有较强引力场的天体，如中子星和黑洞，其吸积要强烈得多。于是，向天体跌落的物质（多半来自双星系统中的邻近伴星）形成一个吸积盘。因为物质在引力场中降落时获得能量，盘中的



活动星系。在射电波段‘拍摄’的活动星系天鹅座 A。星系本身呈现为图中央的小点；与星系核心部位的黑洞相联系的活动，朝着相反方向射出两股喷流。

原子又互相碰撞，所以原子的温度可以变得很高，以致能辐射 X 射线。以极大规模在一些包含数百万倍太阳质量的黑洞的星系中心发生的这类过程，有可能提供类星体的能源。

accretion disc 吸积盘，环绕一颗恒星或其他天体的物质环，环中物质回旋降落到盘内的天体上。见吸积。

active galaxy 活动星系，从称为核的中心区域发射大量能量的星系。这赋予这类天体另一个名称——活动星系核，通常简称为 AGN。这个名词包括了在不同时期发现的、已有不同名称的许多种类高能星系，其中有赛弗特星系、N 星系、蝎虎座 BL 型天体和类星体。现在认为，所有这些天体的能量都是由某种基本相同的、涉及活动星系中心一个特大质量黑洞对物质吸积的过程所提供。

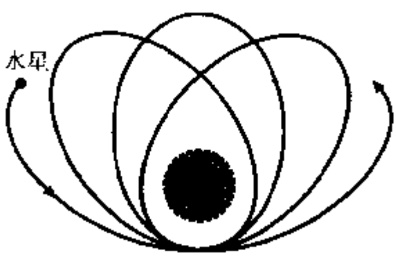
星系的物质落进黑洞时，与它的质量对应的引力能被释放并转变成电磁辐射，包括光、X 射线和射电波。这个过程的效率极高，致使流入物质的 10% 或更多的质量按照爱因斯坦的著名公式 $E=mc^2$ 转变为能量（见狭义相对论）。中央黑洞的质量可以多达太阳质量的 1 亿（10^8）倍，正好是环绕它的星系中全部明亮恒星质量的 0.1%。

它只需要每年‘吞食’相当于1～2个太阳这种恒星的质量，就能够提供在最强大活动星系中观测到的能量。

中心能源产生的能量往往朝星系的两边射出，大概是通过黑洞的‘极’出来的。这一能量不能从其他方向逃逸，是因为被吸积盘阻挡。射出的辐射与星系中及其附近的物质相互作用的地方，可以产生细的喷流或称为瓣的发出射电波的延伸区（见射电星系、喷流）。

Adams, John Crouch　亚当斯，约翰·克劳奇（1819－92），英国天文学家。在研究了天王星轨道摄动后，他于1845年预言有一个行星存在于天王星轨道之外。法国天文学家勒威耶（Le Verrier）独立做出了同样的预言，并把他的计算交给柏林天文台，该台于1846年9月23日发现了新的行星海王星。

advance of the perihelion　近日点进动，水星绕太阳的轨道并非每次遵循相同的路径，而是依次有微小的位移。每次的轨道都是以太阳为一个焦点的椭圆。在每个轨道上水星最接近太阳的地方（近日点），椭圆向旁边位移一个很小的量。近日点的这种进动是由阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论预言的，但不能用艾萨克·牛顿（Isaac Newton）的引力理论来解释。另见脉冲双星。



近日点进动。大大夸张了的水星轨道绕着太阳向旁边位移的情景。

age of the Sun and Solar System　太阳和太阳系的年龄，地壳中最古老岩石的年龄经放射衰变方法鉴定为略小于40亿岁。用同样方法测定的月球岩石样品年龄大致从41亿岁直到最古老月岩样品的45亿（4.5×10^9）岁。有些陨星样品也超过了40亿岁。综合所有证据得出太阳系大约是46亿岁。由于银河系已经150亿岁左右，所以太阳及其行星的年龄只及银河系的三分之一。

虽然没有测量太阳年龄的直接方法，但它作为赫罗图主序上一颗橙黄色恒星的总体外貌，却正好是对一颗具有太阳质量、年龄约46亿岁、度过了它的一半主序生涯的恒星所应该期望的（见恒星演化）。

age of the Universe　宇宙年龄，宇宙在膨胀，随着时间的流逝和空间的拉伸，使得星系互相远离。如果设想将这一过程在时间上反推，看来就必定在很久以前存在过全部星系拥挤一处的起始状态。宇宙起源于

大爆炸（或奇点）的这一思想得到爱因斯坦广义相对论的证实。宇宙的当前膨胀速率由叫做哈勃常数的数字 H_0 给出。H_0 的数值可通过观测来决定。如果宇宙从大爆炸以来一直以相同速率膨胀，那么它的年龄就应该等于哈勃常数的倒数 $1/H_0$，这个年龄叫做哈勃年龄。

实际上，随着宇宙年龄的增加，星系之间的万有引力趋向于减缓它的膨胀。哈勃‘常数’对宇宙一生中同一阶段的所有星系是相同的，但却随时间的逝去而减小。这意味着，从哈勃常数当前值计算的年龄总是大于宇宙的真年龄，因为宇宙在过去膨胀得比较快。

H_0 的准确值是很难测量的，天文学家广为接受的一个值是 55 公里每秒每百万秒差距。利用这个数字得到的宇宙年龄上限是 180 亿岁。再利用基于爱因斯坦方程式的标准宇宙模型，可以换算出真年龄为 120～150 亿岁。

估计宇宙年龄的一个间接方法是利用恒星的年龄，其前提假设是宇宙必须比最年老的恒星更年老。对球状星团的研究表明，我们银河系中有些恒星可能已经年高 140～180 亿岁了，这正好与 $H_0 = 55$ 公里每秒每百万秒差距时的宇宙年龄相符。但有些宇宙学家争辩说，哈勃常数要大得多，也许大到了 100 公里每秒每百万秒差距。那样一来，‘宇宙年龄’就将缩短到小于 100 亿岁。在这种情况下，它就不可能含有 140 亿岁的恒星。不过，新近的一些研究表明，哈勃常数有可能小于 40 公里每秒每百万秒差距，这将使宇宙称心如意地比它包含的恒星更年老了。

AGN **活动星系核**，见活动星系。

Airy, Sir George Biddell **爱里，乔治·比德尔爵士**（1801－92），英国天文学家。1835 年成为第七任皇家天文官，并担任此职直至 1881 年。他接受这一任命时，正值格林尼治皇家天文台处于混乱而效率低下的状态。他毫不容情地推行他的高标准，将它改造成世界上这类天文台中最好的一座。

albedo **反照率**，天体的反射率的量度。完全反射的表面的反照率是 1，能吸收全部入射光的黑色表面的反照率为零。金星由于被白云覆盖而有较高的反照率 0.65；水星没有大气，只有岩质表面，其反照率仅 0.11。地球的反照率是 0.37。

Algol **大陵五**，英仙星座中第二亮的恒星。观测的大陵五亮度有规则变化，是因为这颗星的光周期性地被一颗绕它公转的较暗伴星所遮蔽。它也是用光谱学方法在 1880 年代证认出来的第一颗食双星。较亮子星大陵五 A 的质量是我们太阳的 3.7 倍，较暗子星大陵五 B 则只有 0.8 个太阳质量。两星相互公

转的周期是 68.8 小时。

alpha beta gamma theory **αβγ 理论**，对原始氢如何在大爆炸中部分转变为氦，从而提供了制造恒星的原料这一过程的解释。这个理论预言了后来发现充满宇宙的背景辐射的存在。

αβγ 理论所依据的计算，是从宇宙年龄不到一秒钟，处在极热的高密状态下，且充满了质子、中子、电子及其他基本粒子混合体的时候着手的。在 1940 年代，乔治·伽莫夫（George Gamow）和他的学生拉尔夫·阿尔菲（Ralph Alpher）证明，当宇宙从这种火球状态膨胀而冷却时，这些粒子所含质量的 75%将以质子（氢核）形态存留下来，25%则转变成 α 粒子（含两个质子和两个中子的氦核）。这与（用光谱学方法）观测的形成于宇宙年轻时期的老年恒星中物质混合比相符，并说明了恒星和星系中可见物质的 99%来自何处（要知道另外 1%的来历，请参看核合成）。

这些计算虽然是以阿尔菲的博士论文形式发表，但伽莫夫认为值得在更广的范围交流。于是他写了一篇论文投给《物理学评论》杂志。这时，他的幽默支配了他。正如他后来在其《宇宙创生》（纽约海盗出版社 1952 年出版）[2]一书中所写，'这篇文章仅由阿尔菲和伽莫夫署名，似乎对希腊字母表不太公平，所以我们（缺席）加上了汉斯·A·贝特（Hans A. Bethe）博士的名字。'说来也真让伽莫夫高兴，这篇文章除了真的以三个人的名字署名外，还巧合地发表在该杂志 1948 年 4 月 1 日一期上；直到今天人们一直依其三个作者姓氏阿尔菲、贝特和伽莫夫而称它为'αβγ'论文。1948 年较晚些时候，阿尔菲和罗伯特·赫尔曼（Robert Herman）推广了这个理论，预言了今日宇宙必定到处充斥着温度约 5K 的背景辐射。

Alpha Centauri **半人马座 α**，离太阳第二近的恒星。它实际上是一个双星，它的两颗子星 A 和 B 每 80.1 年互相绕转一周。半人马座 αA 的质量稍大于太阳质量，半人马座 αB 的质量约为太阳质量的 90%。这个双星离我们太阳系只有 1.33 秒差距。

alpha decay **α 衰变**，原子核发射一个 α 粒子、变成质量小 4 单位而电荷小 2 单位、因而对应另一种元素的原子核的过程。见核合成。

alpha particle **α 粒子**，两个质子和两个中子由核力结合在一起的非常稳定的核。α 粒子实质上是失去两个电子的氦原子核，它极其稳定，而成为核合成过程中制造较重元素的基本砌块。

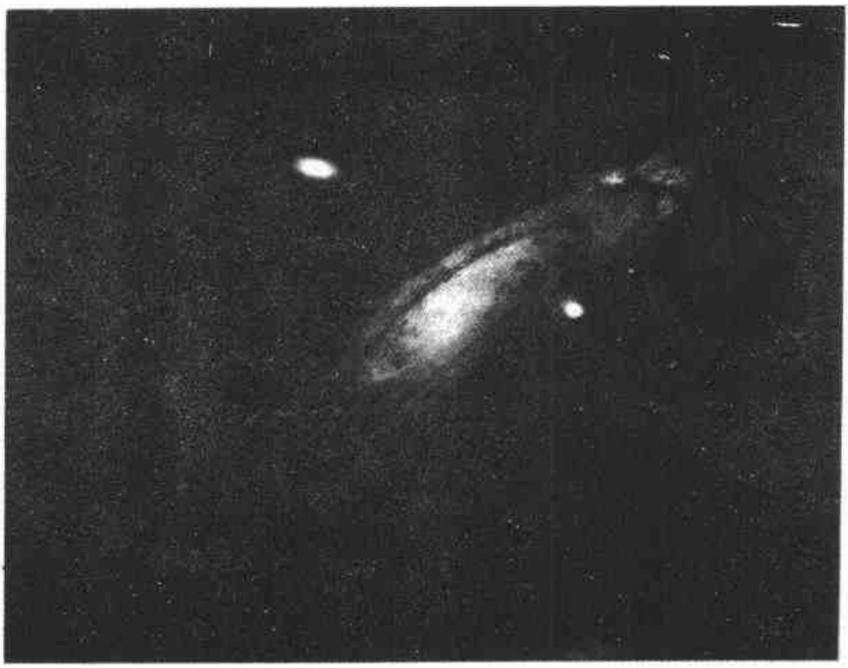
Alpher, Ralph Asher **阿尔菲，拉尔夫·艾舍尔**（1921－），1940 年代与乔

治·伽莫夫和罗伯特·赫尔曼一起工作的美国物理学家。他们共同完成了关于元素如何在大爆炸中生成的最早的计算，并预言了宇宙微波背景辐射的存在，尽管这一预言被遗忘达25年之久。见αβγ理论。

Ambartsumian, Victor Amazaspovich 阿姆巴楚米扬，维克多·阿马扎斯坡维奇 (1908-96)，出生在格鲁吉亚的亚美尼亚天体物理学家和先驱宇宙学家。自1951年起即在前苏联从事天文研究，1950年代中期首倡射电星系中观测到的高能事件并非星系之间碰撞的结果，而是由发生在个别星系中心的猛烈爆炸所造成的思想。

amino acid 氨基酸，主要（多数情况下是完全）由碳、氢、氧、氮（见CHON）构成的复杂分子。对我们所知道的生命形态非常重要，是制造蛋白质的原料。1994年报道在星际云中首次探测到一种氨基酸（甘氨酸）。

Anaxagoras of Clazomenae 安那克萨



仙女座星系（又叫做仙女座星云）是离我们自己的星系最近的巨型盘状星系。我们的银河系如果从外面看，应该与它有些相似。

哥拉（克拉佐曼纳人，约公元前500－428），对日食和月食给予正确解释的第一位天文学家。安那克萨哥拉注意到落至地面的陨星是红热的铁块，于是推想太阳和恒星也是红热的铁球。他以为地球是平坦的，计算出太阳在地面之上的高度是4,000英里，太阳的直径是35英里。厄拉多塞（Eratosthenes）利用同样的计算，但假定地球是圆的，求出实际上是地球半径大约等于4,000英里。伯里克利[①]（Pericles）是安那克萨哥拉的弟子之一。

Anaximander of Miletus　阿那克西曼德（米利都人，公元前611－547），提出地球表面是弯曲的第一位哲学家。阿那克西曼德是泰勒斯（Thales）的学生，他以为地球表面像圆筒表面那样在南北方向弯曲。他也是提出地球可能是无支撑地漂浮在太空的第一人。

Andromeda galaxy　仙女座星系，离我们自己的银河系最近的巨大星系。仙女座星系是一个盘状星系，距离约700千秒差距。它显示为仙女座中一片微弱的光（星云），是肉眼可见的最遥远天体。

早在18世纪，依曼努埃尔·康德（Immanuel Kant）就认为，这类星云可能是银河系之外的巨大恒星系统，但这一见解甚至到了20世纪初仍未得到证明。另一个颇有市场的观点是，星云乃银河系内部气体尘埃云形成恒星的区域。这个问题是在1920年代，埃德温·哈勃使用威尔逊山天文台新造的100英寸（2.54米）望远镜，在仙女座星云的外区证认出了个别的恒星，才获得解决。

这些恒星中有些是造父变星。由于造父变星的变化与它们的绝对星等有关，所以哈勃得以从它们的视亮度计算出到仙女座‘星云’的距离，由此证明它确实是另外一个独立的星系（见宇宙距离尺度）。

哈勃估计的距离，后来主要通过瓦尔特·巴德（Walter Baade）的研究，几经修正而有所增大。但哈勃的工作证实了，我们的银河系不过是许许多多星系中的一个而已，宇宙远远伸展到了银河系边界以外。在700千秒差距距离上，仙女座星系（根据它在一些天体表中的编号又被称为M31或NGC 224）的直径将是60千秒差距，大致比我们的银河系大一倍，约含4,000亿颗恒星。

Anglo-Australian Observatory　英澳天文台，英澳望远镜和联合王国施密特望远镜所在地。两台望远镜都安装在澳大利亚的赛丁泉山。另参见斯

① 古雅典政治家、大将军及演说家。——译注

特罗姆洛山及赛丁泉天文台。

Anglo-Australian Telescope (AAT) 英国－澳大利亚望远镜 (AAT)，安装在澳大利亚海拔 1,150 米的赛丁泉山（英澳天文台）的一台 3.9 米反射望远镜。AAT 由英国和澳大利亚两国政府联合出资建造，可在光学和红外两个波段进行观测。

ångström 埃，一个业已陈旧的长度单位（通常记为 Å），过去常用于量度光和其他辐射的波长。1Å 等于一百亿分之一米，或 0.1 纳米。此单位是以瑞典光谱学先驱埃斯特朗（Ångström，A.J.）的姓命名的。

antenna 天线，天文射电望远镜的一个用于接收空间射电信号的部件，相当于接收电视信号并将其传送到电视机的家用天线。同播送电视节目一样，天线也可用来发射射电波或其他电磁辐射。有些大型射电望远镜的天线已经用于向其他行星发射可反射的雷达信号。

anthropic principle 人择原理，认为宇宙中生命（特别是人类生命）的存在，可以对当前宇宙的状态和宇宙进入当前状态的方式施加约束的一种思想。

用一个例子可以最好地说明人择原理概念的威力。我们要能存在，就必须有一颗恒星（太阳）和一颗在适当距离围绕它运动的行星（地球），而行星必须是由合适的化学元素混合物（特别是要有碳、氮、氧和大爆炸遗留下来的原始氢）构成的。这些元素在生命过程中起着关键的作用（见CHON）。初看起来，宇宙其余部分的存在，包括散布在数十亿光年空间范围的几百万个星系，是同我们的存在不相干的。

但是，构成我们身体和地球的元素从哪里来？大爆炸只生产了氢、氦和痕量的几种轻元素。碳和其他重元素是在恒星内部加工的（见核合成），这些恒星必须走完其整个生命之路，然后爆发，将重元素扩散到空间，形成可以产生包括太阳在内的后代恒星和行星的物质云。这经历了几十亿年时间。而生命在一个合适行星上要进化到出现能够留心周围事物、对宇宙大小感到好奇的智能生物，又要数十亿年时光。宇宙却一直在那里膨胀；几十亿年后，它必然广达数十亿光年。所以，我们在这里提出宇宙大小的问题这个事实，就表示宇宙必定含有很多恒星，宇宙必定已有数十亿岁，宇宙范围必定达到了数十亿光年。

这个几乎是（但不完全是）类语叠用式的论据（‘我们在这里是因为我们在这里’），好像是罗伯特·狄克（Robert Dicke）讨论宇宙学问题时首先表述的。他在 1957 年发表的一篇文章中指出，宇宙的大小‘不是随意的，而是由生物因

素制约的'（由巴鲁和迪普勒引用，见下）。在那之前，弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）为了解释元素如何产生，已经做出了事后才有可能被看成基于人择原理的真正预言。他认为，我们身体中碳的存在，要求在恒星内部发生一种确定的核聚变反应；为检验他的预言进行了实验，并且发现那种反应的发生与霍伊尔预言的完全一致（见B^2FH、三α过程）。人择原理的这一动人的成功应用并不总是得到了应有的赞许。

宇宙学家对人择原理的兴趣，一直要等到1974年，英国学者布兰登·卡特（Brandon Carter）提出需要区分'弱人择原理'和'强人择原理'之后，才真正高涨起来。人择原理的这种区分后来由约翰·巴鲁（John Barrow）和弗兰克·狄普勒（Frank Tipler）定义如下：

弱人择原理：物理学和宇宙学的所有量的观测值，不是同等可能的；它们偏爱那些应该存在使碳基生命得以进化的地域以及宇宙应该足够年老以便做到这点等等条件所限定的数值。

强人择原理：宇宙必须具备允许生命在其某个历史阶段得以在其中发展的那些性质。

弱人择原理认为，在某种意义上，宇宙对其如何从大爆炸中浮现出来做了'选择'。例如，引力相互作用强度可能与我们知道的值不同。假设引力曾经比我们今日宇宙中的强得多，那么在其他条件一样的情况下，恒星应该比我们宇宙中的更小，燃烧它们的核燃料更快，以便支撑自己对抗引力。只要引力足够强，恒星将在我们这样的复杂生命形态尚未来得及进化成功时就燃烧尽了。

在这幅图像中，一个无穷的宇宙可能分隔成有着不同物理定律的'领地'。这些领地在空间上可能彼此远离到超出了我们望远镜所及的范围；而在时间上，在某种意义上说，它们也许是在大爆炸'之前'分隔开的。或者，它们也可能存在于某种通过虫洞连接起来的超维度的超空间中。类似我们的生命形态将只存在于允许恒星存活足够长因而复杂生物得以进化、其他条件则像熊宝宝的粥'恰到好处'那样的领地中。这有时被称之为金发姑娘现象①。

强人择原理认为，宇宙对如何

① 出自民间故事。一金发小姑娘到三个小熊家里作客，她觉得不是这碗粥太烫，就是那条凳子太高，或是那张床太大；只有最小的熊宝宝的这一切则'恰到好处'。——译注

从大爆炸中浮现出来是无法选择的、在某种意义上是为人类'定做的'。有些物理学家，特别是约翰·惠勒（John Wheeler），将它同量子物理学认为除观测的东西外无物为真的思想联系在一起——也就是说，宇宙的物质现实性依赖于关注其存在的智能观测者的参与，而这保证了基本相互作用和自然界的常数，如引力强度等，具有了我们所知的数值。

其他一些人则把允许宇宙中存在生命的各种'巧合'看成是有设计师在起作用的证据。霍伊尔说过，'核物理学的定律是针对它们在恒星内部引起的后果而精心设计的'（《星系、核和类星体》，伦敦海纳曼公司 1965 年出版）[3]，不过很少宇宙学家同意他的说法。

在这一层次上，关于人择宇宙学的辩论，已经涉及到了为'证明'上帝存在而提出生物体太过复杂、不可能偶然产生的老论据，这是威廉·佩利（William Paley，1743 – 1805）在 18 世纪强烈主张的论点。反论据则是，通过自然选择的进化已经产生了地球上的复杂生物体，它们适应了环境，根本不需要上帝插手。

有趣的是，这个反论据，主要通过美国数学物理学家李·斯莫林（Lee Smolin）的工作，现在已经推广到了宇宙学领域。斯莫林主张，婴儿宇宙通过黑洞从母宇宙分离出来时，'新'宇宙中的物理学定律可能与'老'宇宙中的物理学定律稍有不同。物理学定律的这一变化可能提供了使自然选择在宇宙本身这样的层次上起作用的物质原料，于是，那些生产黑洞效率较高的宇宙，就能生产较多的类似自身的宇宙，因而在某种争夺空间的宇宙斗争中胜出。

按照这个论点，那些有利于物质转化为许多黑洞的物理学定律，将在选择过程中受到偏爱。斯莫林认为，我们的宇宙是这一演化过程非常可能的最终产物，我们觉得极其精美地适合我们生存的物理学定律，实际上为制造黑洞和更多婴儿宇宙而做了微调。那些定律碰巧允许作为我们生命基础的碳和其他元素存在，从这个事实来看，我们的存在只是一种寄生的结果。

补充读物：约翰·巴鲁和弗兰克·狄普勒著《人择宇宙学原理》[4]；约翰·格里宾和马丁·里斯著《宇宙巧合》（又名《宇宙的原料》[5]，伦敦企鹅出版社 1995 年出版）；约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]。

antimatter **反物质**，各种粒子的关键性质都被反转的一种物质形态。例如，自然界中存在电子的对应物，就是带有与电子负电荷在数值上相等的正电荷的反粒子。由于这

个原因，这种‘反电子’又叫做正电子。然而，即使不带电荷的粒子也可能有其反粒子对应物，因为与基本相互作用有关的其他性质是相反的。

反粒子自然存在于宇宙线中，也能用粒子加速器（‘原子轰击’机），如设在日内瓦欧洲核子研究中心和芝加哥费密实验室的加速器制造出来。在任何获得足够高能量的过程中，能量的一部分（E）可以转变成粒子－反粒子对（例如一个电子加一个正电子），而且粒子对的联合质量（m）由公式 $E = mc^2$ 给出（见狭义相对论）。每当一个粒子同一个等价反粒子相遇，两个粒子都将湮灭，并以辐射的形式释放出与它们联合质量相当的能量。

反物质原子原则上是能够存在的（比如反氦原子，是由含两个反质子和两个反中子的核与围绕核的两个正电子组成），并可结合成反物质物体，包括行星和人体。但任何反物质只要与普通物质接触，都将在一阵能量爆炸中被消灭。虽然有人猜测，可见宇宙的恒星和星系中普通物质的存在，在一定程度上可能由空间遥远区域中反物质构成的恒星和星系的存在所平衡，但没有证据表明任何可见星系含有足够数量的反物质。

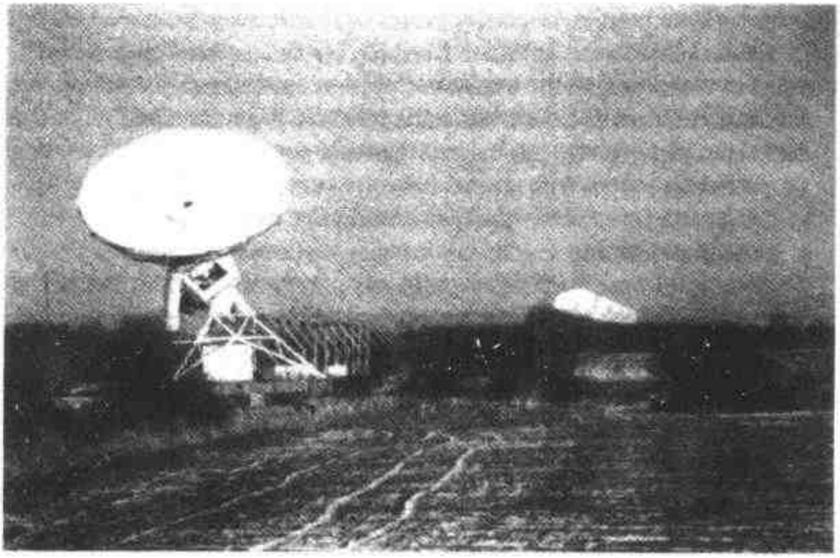
antiparticle **反粒子**，见反物质。

aperture **孔径**（口径），折射望远镜物镜的直径，或反射望远镜主镜的直径，或射电望远镜抛物面天线的直径。

aperture synthesis **综合孔径**，射电天文学中用来使射电望远镜模拟出大得多的望远镜威力的一种方法。用电子技术连接起来的好几个直径可达 25 米的射电抛物面天线观测相同的天区，地球的自转带动阵列中望远镜运动，每个望远镜扫出一个弧，对应一个假想的孔径达数公里的‘超望远镜’表面的一部分。阵列中所有望远镜接收的信息被记录下来，然后用计算机合成以产生天区的像（综合），这个像就是超望远镜应该看到的情景。实际上，模拟超望远镜总是不完美的，但其结果却能提供比阵列中任一望远镜单独工作时多得多的信息。

综合孔径方法是 1950 年代在英国和澳大利亚开发出来的，第一台重要的综合孔径望远镜是剑桥的‘1 英里’望远镜（后来增大到 3 英里，或 5 公里，现在被称为赖尔望远镜），它的个别抛物面天线排列在直线轨道上，其中有些天线可以逐日沿轨道移动，以模拟超望远镜的不同部分。甚大阵和澳大利亚望远镜都利用了综合孔径原理。

aphelion **远日点**，行星或其他天体轨道上到太阳距离最远的点。地球每年 7 月 3 日经过远日点。



综合孔径。剑桥郊区的赖尔望远镜，采用综合孔径原理，用几个较小天线模拟单个大天线的威力。

APM　自动底片测量机，剑桥大学研制的用于从照相底片，特别是用施密特照相机拍摄的底片获取信息的仪器，其缩写名 APM 取自英文全称 Automatic Plate-measuring Machine。APM 的任务之一是从数十万颗恒星像的分析中证认类星体候选者。

Apollo asteroids　阿波罗小行星群，轨道的近日点都在地球轨道之内而远日点都在地球轨道之外的一群小行星，所以它们绕太阳运动时穿过地球轨道。它们的名称来源于 1932 年走到离地球不到 0.07 个天文单位时被发现的第 1862 号小行星阿波罗。阿波罗本身的线大小约 1.4 公里。这样一个天体如果与地球相撞，将会造成大范围的破坏。见世界末日小行星。

apparent magnitude　视星等，用常规星等标量度的从地球看的恒星亮度。由于恒星到我们的距离不同，同样亮度的恒星如果离我们较远，将显得较暗。仅由视星等不能得出恒星真正有多亮。见绝对星等。

arc minute　角分，角的一种计量单位。一个圆周有 360 度，1 度有 60 角分，1 角分有 60 角秒。月亮在

天空张开的角（即它的角直径）刚刚超过 30 角分（半度）。

arc second　角秒，角的一种计量单位。60 角秒等于 1 角分，60 角分等于 1 度，360 度等于一个圆周。所以一个圆周有 1,296,000（也就是 1.296×10^6）角秒。

Arecibo radio telescope　阿雷西博射电望远镜，世界最大的抛物面望远镜，直径达 305 米，坐落于波多黎各境内一片天然凹地，由美国康奈尔大学管理。由于此望远镜是在天然凹地上铺以反射板而成，所以不能像著名的焦德雷班克望远镜那样操纵，它只能随着地球自转扫描天空的一个带。

Aristarchus of Samos　阿利斯塔克（萨摩斯人，公元前三世纪初），认识到地球为圆形后第一个试图计算太阳和月球相对距离的人。以他当时（阿利斯塔克是阿基米德的同时代人）掌握的知识是不可能做出精确估计的，但却代表了朝着了解宇宙大小的目标迈出的第一步，并且证明太阳比地球大得多。阿利斯塔克领悟到，恒星跨越天空的视运动是由地球自转引起的；他告诉人们，太阳位于宇宙的中心，地球及其他天体沿圆轨道绕太阳运动——领先于哥白尼的思想约 1,900 年。

Aristotle　亚里士多德（公元前 384 - 332），亚里士多德兴趣广泛，宇宙学方面亦有著述。他在前辈思想基础上提出的宇宙模型，是一系列以地球为中心并围绕它旋转的同心球。最外面的球镶嵌着恒星，里边的几个球携带着土星、木星和火星，接下去是带着太阳以及金星、水星和（最靠近地球的）月亮的球。这样一个'地心模型'，竟无视阿利斯塔克提出的思想，到 15 世纪哥白尼时代为止，一直居于统治地位。亚里士多德还证明地球是球形的。他指出，地球投放到月球上的影子是圆的；当你沿南北方向旅行时，你会看到一些恒星落到地平线下，另一些从地平线下浮上来。

Arizona Meteor Crater　亚利桑那陨星坑 = 巴林格陨星坑。

Arp, Halton Christian（'Chip'）阿尔普，哈尔顿·克里斯琴(1927 -)，美国天文学家，他系统地研究了反常星系，提出宇宙学红移作为距离指示量的通常解释并非总是适用。

阿尔普于 1927 年 3 月 21 日出生在纽约市。他求学于哈佛大学和加州理工学院，1953 年获加州理工学院博士学位。他作为观测天文学家的大部分生涯是在加州的威尔逊山天文台、帕洛马山天文台和海尔天文台度过的，但 1955 ~ 1957 年他在印第安那大学工作。

作为熟练的观测者，阿尔普善于发挥望远镜的最大效益，并在两个领域做出了重要贡献。第一个领域是传统的，以研究有助于建立宇

宙距离尺度的新星和变星而著称。特别是，阿尔普对仙女座星系中新星的研究，建立了新星的绝对星等与视亮度衰减速率之间的联系。这意味着通过研究某个星系中新星的光变曲线，天文学家能够推算出它的绝对星等，将绝对星等与视星等比较，就能算出新星的距离，也就是那个星系的距离。

尽管阿尔普在这些传统研究中取得了显著成就，但使他最出名的却是他关于星系的红移和活动性的非传统思想。他在科研实践中收集了一些反常星系的照片，这些星系似乎正在抛射物质喷流，或者与其他星系或类星体有物理联系。1965年他发表了一本《特殊星系图》。阿尔普声称，在很多情况下可以看到微弱的恒星物质桥将一个星系与一个相邻天体连接，而且他发现在这些情况下这两个天体有时具有很不相同的红移。

按照对宇宙学红移的传统认识，这表示这两个天体应该位于离我们很不相同的距离上，它们只是碰巧在天空中彼此为邻。但如果它们真的通过恒星桥联系在一起，它们到我们的距离就必须相同。在这种情况下，两个红移中至少有一个不能作为距离的标示。

阿尔普的特殊星系在天文学家研究过的星系中仅占极少数，红移－距离关系对作为整体的星系来说无疑是很适用的。很少天文学家相信阿尔普发现的红移值‘互有差异的’天体真有物理上的联系。但是，有些被证认为类星体的高红移天体仍有可能是从比较邻近的星系中抛射出来的，就像枪发射出的子弹。它们的高红移不是来源于宇宙的膨胀，而是由另外某种过程所产生。这与维克多·阿姆巴楚米扬的思想颇为相似。

Arrhenius, Svante August 阿伦尼亚斯，斯凡特·奥古斯特（1859－1927），瑞典物理化学家，1903年获诺贝尔化学奖，1905～1927年任斯德哥尔摩诺贝尔物理化学研究所所长。他认为地球可能已经被太空尘粒携带的微生物‘播种’了生命（见胚种广布假说）。类似的思想前不久也由弗雷德·霍伊尔爵士和昌德拉·威克拉马辛格（Chandra Wickramasinghe），以及脱氧核糖核酸（DNA）结构的共同发现者弗兰西斯·克里克（Francis Crick）提出。

arrow of time 时间之箭，科学中最不可思议的事物之一就是区分过去和未来。在亚原子层次上，不论是经典力学的传统思想抑或量子力学的现代思想，都不能区别过去和未来。在涉及亚原子粒子的典型相互作用中，两个粒子可以会合到一起，并通过某种方式的相互作用产生两个不同的粒子，后者随即又分开。物理学定律表明，几乎每种这

样的相互作用都能同样有效地反过来运行，即‘最后的’两个粒子会合到一起并相互作用而产生‘最初的’两个粒子。在这一层次上，仅仅着眼于每对粒子是无法将过去与未来区分开的。

但是在人能感知的层次上，过去和未来的区别是显而易见的。事物的变陈旧；人的变老。与粒子相互作用相对应，我们可以想像一个在桌子边缘的酒杯，它摇摇晃晃然后坠落地面摔碎了。即使在酒杯摔碎时，酒杯内部原子之间每种相互作用按照已知物理定律是可以反转的，我们也永远看不到摔碎的杯子自己重新组装起来。如果让我们看两张静止照片，一张是桌子上的酒杯，另一张是地板上的玻璃碎块，我们也能毫无困难地指出，在时间上哪一张照片先拍，哪一张后拍。在我们考察含有很多粒子的复杂系统时，存在着一个从过去指向未来的固有的时间之箭。

但是，区分指向未来的箭和向未来运动的箭是很重要的。这很像罗盘的指针，它指向北方，但根本不必向北方（或其他任何方向）运动。如果拍一部酒杯从桌上坠落地面的电影，而不仅仅是在此‘之前和之后’的两张照片；如果电影的个别画面割裂开来然后混在一起，我们也仍然能够把它们按正确顺序加以整理。不必真正放映电影，也能清楚区分过去和未来。

有些科学家（和哲学家）认为，我们关于时间流逝的印象不过是一种幻觉，因为我们的头脑审视我们亲身经历的事件，就像把电影放映在银幕上。潜在的事实，不论过去的还是未来的，可能仍然在那里，就像电影胶片的各个独立画面，即使我们的注意力不得不集中通过一个一个画面追随故事的连续。不管这是否真实（这是极具争议的问题），仍然真实的一点是，过去和未来可以用一个从过去指向未来的箭加以区别。

这种区别可以用数学来表示，热力学的基础是对我们从过去‘运动’到未来的过程中事物变化方式的分析。关键是洞察到宇宙中的杂乱程度总是在增加——酒杯破碎了，却不会自行聚合。物理学家用叫做熵的量来估量杂乱程度；物理学最基本的定律是，一个封闭系统的熵总是永远增加的（热力学第二定律）。

在一个有外部能量来源的开放系统中可以避开这条定律。第二定律似乎在地球上受到了破坏，因为生物在生长，人能够把一堆砖变成一种有秩序得多的结构，如房屋。但所有这一切都依赖于能量的输入，其来源就是太阳。地球上的熵减少远小于与太阳内部核聚变反应和太阳向空间辐射热量相联系的熵

增加。整个宇宙的熵随时间的流逝而增加——也就是，同较低熵的宇宙状态相比，拥有较高熵的状态对应着未来方向。

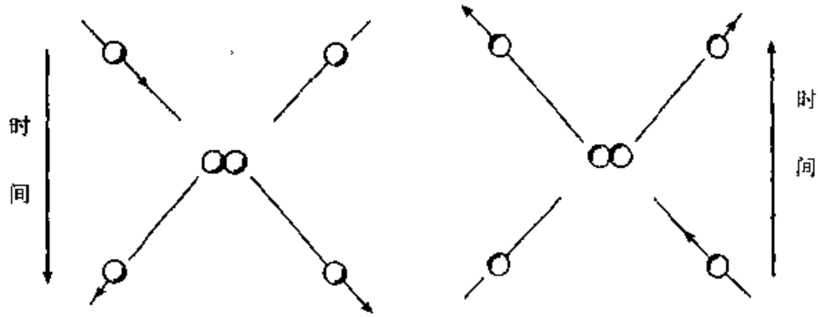
同一个时间之箭以另一种方式表现在宇宙结构之中。宇宙在膨胀(见红移)，所以星系彼此分开越来越远。同星系靠得比较近的宇宙状态相比，星系分开比较远的状态就处在未来的方向。首要的时间之箭系大爆炸本身所规定——不管你在宇宙的何时何地，大爆炸总是在时间的过去方向。不知什么缘故，宇宙从大爆炸中浮现时，它的熵足够低，使得恒星、行星和人类得以形成；从那以后它就逐渐衰竭。热量不能从较冷的物体流向较热的物体(第二定律的另一种表述)，所以明亮恒星的能量是单向流进冷的宇宙。当宇宙中所有恒星及其他能量来源停止提供热量，整个宇宙就将进入任何东西都不变化的温度均匀状态。宇宙将遭受‘热寂’。

这突出了另一个考察时间之箭和熵概念的方法。一个封闭系统(或整个宇宙)中的能量是不会改变的——这是热力学第一定律。即使质量按照爱因斯坦公式 $E=mc^2$ 转化为能量，但质量被认为是能量的一种储存形式，所以并没有创造‘新’能量。于是，第二定律告诉我们的就是，封闭系统内的任一相互作用中的‘有用’能量是减少的。

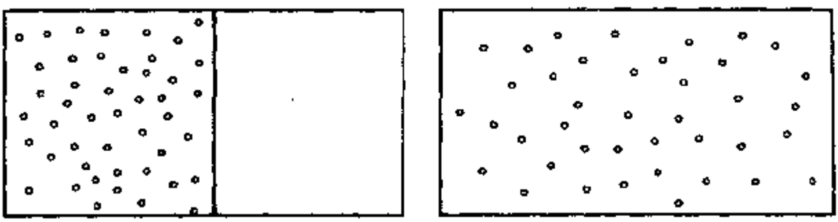
有用能量就是能够作功的能量。例如，当酒杯从桌上跌落时，原则上可以将它与一个能够带动发电机的皮带轮系统连接，把下落酒杯的引力能转化为电能。但是，当杯子是自由下落时，这一潜在的有用引力能就转变为运动的能量(动能)。当杯子撞击地面而破碎时，杯子和地面的原子和分子将被激发而更快振动，于是这一动能转化成热而浪费掉。最后，这一热能化为红外辐射，在空间耗散，永远不可能用来作有用的功。我们永远看不到从太空来的辐射能够使地面和杯子碎片的原子和分子恰如其分地摆动，把玻璃碎块结合成酒杯，并让它跳回到桌子上。

就算我们能让下落的杯子带动发电机去作有用的功，一部分能量也将因摩擦生热而损失掉。任何能量转化过程都不是完全的，这就是为什么我们永远做不出永动机(比如用下落杯子发的电驱动一个马达将杯子重新提升到桌面上)。

但是我们仍然面对一个难题，就是当杯子掉下摔碎时，涉及一对原子或分子的每种相互作用原则上都是可以反转的。可实践中为什么从来不发生这样的情形呢？一种可能是，过程并非绝对不可能‘反演’，只是必然反演的可能性微乎其微罢了。



时间之箭。物理学定律不能辨认时间的流动。例如，两个球碰撞然后分开的事件，不论时间之箭指向何方，都能同样好地加以描述。



然而，我们都知道时间朝哪个方向流动。在这个实验中，当隔板被拿走，气体就从箱子左半部扩散到充满整个箱子。我们永远看不到气体自己自发地仅仅充满箱子的一半。

现在，将下落的酒杯放在一边，来考虑一个比较简单的系统——用隔板分成两半的箱子，隔板的一边有气体，另一边是真空。如果把隔板拿走，气体将扩散到充满整个箱子（顺便说一下，气体扩散时将稍稍变冷——这是冰箱的工作原理）。不管你坐下来观察箱子多长时间，你永远别想看到气体的所有原子和分子返回到箱子的一半，而让另一半空着。然而箱子中任意两个粒子之间的每次碰撞原则上都是可反转的。如果我们能挥动魔术棒将每个粒子的运动反转，气体将必定返回到它原来的地方。

19 世纪时，法国物理学家亨利·潘加勒（Henri Poincaré，1854－1912）证明，关闭在箱子中的这样

一种‘理想’气体最终必然通过热力学定律允许的所有可能的粒子排列。只要原子和分子来回蹦跳，它们迟早会采取任何允许的排列，包括全部气体仅仅占据一半箱子的排列。如果我们等待足够久，系统就将回到它的起始点，时间也就好像是反向流动了。

这里的关键是‘足够久’。所有粒子通过所有可能排列需要的时间叫做潘加勒周期，它与箱子中的粒子数量有关。即使小小一箱子气体也可能有 10^{22}个原子。如此多的原子要通过所有可能的排列，需要的时间将比宇宙年龄长得多。表示潘加勒周期典型值的数含有的零比全部已知星系的恒星加起来还要多，这就说明，你看到箱子中的气体按照某个特定方式排列或等到杯子跳回到桌面上的机会是多么的小。

所以，对世界为什么在微观尺度上可以反转而宏观尺度上不能反转（为什么时间之箭只指着一个方向）这个难题的标准‘答案’是，熵增加定律是一个统计定律；熵的减少并非完全被禁止，而是可能性极低。

这导致奥地利物理学家路德维格·玻耳兹曼（Ludwig Boltzmann, 1844 - 1906）——也是在 19 世纪——认为宇宙可能是一个巨大的统计怪物。设想一种热寂已经发生、一切事物都是均匀的场景，那么根据玻耳兹曼对潘加勒工作的解释，宇宙一个部分中的所有粒子有时会偶然地正好走上能够产生恒星或星系或大爆炸的正确道路。总之，在宇宙的这样一个区域中，时间暂时反向流动，从混乱中创造秩序。然后，这个低熵泡将在返回更可能的状态时‘放松’。

这个思想没有得到当今宇宙学家的认真对待。虽然它与稳恒态假说中各种形式的模型有相似之处，却被大爆炸模型取代了；但正如现在工作在阿得雷德大学的保罗·戴维斯（Paul Davies）指出的，它仍然包含了洞察时间本质的极富魅力的见解。

如果时间之箭永远指向熵增加方向，在玻耳兹曼泡增长时说时间‘倒流’就没有意义。在令人感兴趣的宇宙区域中，一位智能观察者仍然能感受到指向高熵热寂状态的时间之箭。换言之，即使宇宙过去‘真正’是坍缩而不是膨胀，是向奇点运动而不是离开它，像我们这样的智能观察者仍然能够领悟，‘未来’是星系分开更远时的时间。

这并非单纯哲学上的吹毛求疵，因为大爆炸模型的若干变种认为，我们宇宙的膨胀将在某天停止，然后转为收缩。如果发生这种情况，时间本身会倒流吗？如果时间倒流，智能观察者能注意到吗？

或者，在宇宙收缩时，他们仍将觉得是居住在膨胀宇宙中吗？也许，我们真是居住在一个收缩的宇宙中而一直没有察觉！

补充读物：保罗·戴维斯著《奔逃的宇宙》[7]；菲利普·狄克著《逆时钟世界》[8]；伊利亚·普里果金和伊莎贝尔·斯坦格斯著《混乱中的秩序》[9]。

asteroid 小行星，沿轨道绕太阳运动的比行星小的岩质天体。大多数小行星的轨道聚集在火星和木星的轨道之间，估计那里有一百万个宽阔超过1公里的天体。最大的小行星是谷神星，直径达933公里。小行星大概是太阳系形成时留下的碎块，可能代表了产生地球这类行星的物质形态。另见小行星（minor planets）。

Astronomers Royal 皇家天文官，见格林尼治皇家天文台。

astronomical distance scale 天文距离尺度，见宇宙距离尺度。

Astronomical unit 天文单位（AU），距离单位，定义为地球在整个轨道上（一年内）与太阳的平均距离。1AU 等于 149,597,870 公里（= 499.005 光秒）。

astrophysics 天体物理［学］，物理学在认识宇宙间包括恒星（及其他天体）在内的一切事物以及宇宙本身规律中的应用。天体物理学发端于19世纪用光谱学研究恒星，这导致温度和物质成分的测量。天体物理学能够研究处在地球上达不到的宇宙中极端（温度、压力和密度）条件下的物质。

Atkinson, Robert D'escourt 艾特金生，罗伯特·德斯科（1898－1982），威尔士天体物理学家。1922年毕业于牛津大学，1928年获格廷根大学博士学位，接着到新泽西州拉特捷斯大学工作。艾特金生在科学上的主要贡献，是同弗里茨·候特曼斯（Fritz Houtermanns）一道，证明恒星内部原则上可以通过核子粘结到一起（聚变）而产生能量。他们在1920年代末的计算表明，乔治·伽莫夫提出的隧道效应，能使核子（比如质子）无视它们的电荷造成的斥力，互相接近到足以结合在一起。见质子－质子反应。

atom 原子，元素的最小部分，即参与化学反应的单位。原子由一个小小的带正电的中央核和周围一群带负电的电子组成。原子的总电荷等于零。核与电子群的大小比例大致相当于艾伯特大厅中间的一颗沙粒。最大的铯原子的直径也只有0.0000005毫米（5×10^{-7}毫米）；1千万个原子一个接一个排成直线才能填满邮票锯齿边相邻两个孔的间隔。

atomic clock 原子钟，以原子的规则振动为基础的各种守时装置的统称。第一个原子钟是美国国家标准

局在 1948 年研制的，它依据的是氨分子中前后摆动的氮原子每秒 23,870 次的振动频率。它又叫做氨钟。

今天的标准原子钟是利用铯原子。铯的光谱中有一个特征对应的辐射具有高度准确的频率——9,192,631,770 周每秒。现在的一秒就定义为铯光谱中与这个特征对应的辐射振动这么多次所需要的时间（见原子时）。这类原子钟也叫做铯钟；其精度达到 10^{13} 分之一（10 万亿分之一），或 316,000 年误差 1 秒。

利用氢原子的辐射甚至研制了更精确的钟，叫做氢脉泽钟。其中之一放在华盛顿特区的美国海军研究实验室，它的精度估计是 170 万年误差不超过 1 秒。原则上，这种类型的钟有可能达到 3 亿年差 1 秒的精度。

atomic mass unit **原子质量单位**（**amu**），用于量度原子和分子质量的质量单位。这个单位定义为一个碳原子质量的 1/12，它大致等于一个质子的质量——1.66×10^{-27} 千克。粗略地说，用 amu 表示的一个原子的质量等于它的核中的质子和中子总数。

atomic number **原子序数**，表示某元素每个原子的核中质子数目的数（同一元素的各种同位素仍有相同的原子序数），也等于与该元素每个原子相连的电子数目。氢的原子序数是 1；铁的原子序数是 26。

atomic time **原子时**，用原子钟的振动测量的时间。1967 年以来，秒已经用原子时定义为铯－133 原子光谱中对应一特定谱线的辐射完成 9,192,631,770 次振动所经历的时间。国际原子时是用从 1958 年 1 月 1 日（就是从 1957 年 12 月 31 日到 1958 年 1 月 1 日那一夜格林尼治平时的天文子夜时刻）算起的秒数量度的。

Australia telescope **澳大利亚望远镜**，用综合孔径和长基线干涉测量原理，将新南威尔士三个不同地点的 8 个天线连接起来的一台射电望远镜。在某些组合下，这台望远镜能模拟直径 300 公里望远镜的分辨本领。

axion **轴子**，一种由某些大统一理论要求的、但在地球上的实验室中尚未探测到的假想基本粒子（据说是以洗涤粉命名的）。如果轴子存在，那么每个轴子的质量非常小，小于 10 万分之一电子伏（10^{-5} eV）；但大爆炸遗留给宇宙的轴子可能非常多，多到能够提供某些宇宙学家为使时空平坦所要求的冷暗物质。因此，证实轴子存在将强有力地表明，我们对物理学定律的理解，在最小和最大这两个极端尺度上，都是正确的。见暴涨。

B

B^2FH B^2FH，杰弗利及玛格丽特·伯比奇（Geoffrey and Margaret Burbidge）、威利·福勒（Willy Fowler）和弗雷德·霍伊尔四人姓氏的简略称呼。1957年，这组天体物理学家发表了一篇算得上是经典科学论著的论文，讲述了除原始氢和氦（见αβγ理论）以外所有天然存在的各种原子核，是如何在恒星内部通过核合成制造出来的。虽然霍伊尔是这个小组的带头人，后来（1983年）福勒却单独主要因这项成果被授予诺贝尔奖。瑞典科学院宣布福勒获奖时说，这篇论文（同样简称为'B^2FH'）'仍然是我们关于这个领域的知识的基础，核物理学和空间研究的最新进展进一步证实了它的正确性'。它确实解释了你身体中的元素是怎样在恒星内部加工的。另见三α过程。

Baade,(Wilhelm Heinrich)Walter 巴德,(威廉·海因里希)瓦尔特(1893－1960),德国出生的天文学家，在美国度过其大部分科研生涯，1940及1950年代对宇宙距离尺度做出了重大修正。

巴德于1893年3月24日出生在施勒廷豪森，他在蒙斯特和格廷根大学求学，1919年获博士学位。在汉堡大学的贝格多夫天文台工作11年后，他移民美国，并于1931年成为威尔逊山天文台的工作人员。1948年他搬到不远的帕洛马山天文台，在那里一直呆到1958年达到其职务的法定退休年龄为止。然后他回到格廷根，1960年6月25日在那里逝世。

在威尔逊山天文台期间，巴德与弗里茨·兹威基（Fritz Zwicky）和埃德温·哈勃合作研究超新星和其他星系的距离。那时，威尔逊山天文台的100英寸（2.5米）望远镜是全世界最大的，各种各样的大量天文研究都要用它。但在美国参加第二次世界大战后，很多天文学家被征入军事研究部门或军队。作为德国侨民的巴德被认为不适合直接参与军事工作，到1943年他成了留在威尔逊山天文台很少几位活跃的天文学家之一，他几乎可以不受限制地使用这台望远镜。他还从附近城市洛杉矶实行战时灯火管制中受益，因为这降低了光污染，使他能拍摄长时间曝光的照片，将望远镜的威力推至极限。这样，他首次在仙女座星系的内区分解出了单个的恒星。

通过这些观测，巴德看出，在

我们这个近邻星系中有两类很不相同的恒星。第一类主要是年轻恒星，称为星族 I。它们是热的蓝色恒星，分布在旋臂中。第二类叫做星族 II，是比较年老、比较冷、比较红的恒星，分布在星系中央区和晕的球状星团中。现在已经知道这种区分是盘状星系的特有性质。

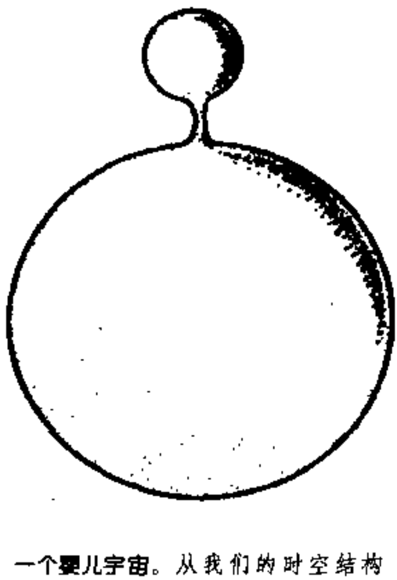
战后，洛杉矶的灯光重新亮起，巴德仍有幸使用帕洛马山天文台新的 200 英寸(5 米)望远镜继续他的研究。他发现两个星族各有其自己的独特造父变星族。星族 I 造父变星和星族 II 造父变星都有独具特色的周光关系，但两个周光关系彼此不同。哈勃第一次试图测定河外距离尺度时采用的周光关系，是根据现在已知是我们银河系星族 II 造父变星的研究得出来的；但却把它应用在巴德发现是仙女座星系中比较亮的星族 I 造父变星身上了。

巴德利用正确的周光关系重新计算了仙女座星系的距离，他在 1952 年得到的数值是 200 万光年(刚刚超过 60 万秒差距)，而哈勃的估计值是 80 万光年(还不到 25 万秒差距)。由于仙女座星系距离的测定是哈勃根据红移计算星系距离的关键一步，这意味着，所有用红移测量值估计的星系距离一举增大了一倍多。

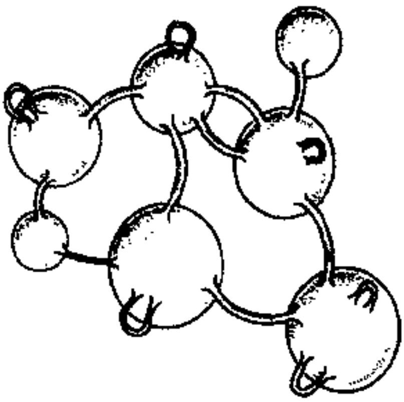
由于红移和距离之间的关系(哈勃定律)也是宇宙年龄的标示，所以大爆炸以来所经历时间的估计值，也因巴德对造父变星距离尺度的修正而增加了一倍多，从 20 亿年增加到 50 亿年。这对天文学家来说是一个极大的安慰，因为在 1952 年就已经从地质方面的证据清楚知道，地球年龄超过了 40 亿岁，而地球极不可能比宇宙还年老。

以后，观测技术的不断改进，进一步把宇宙年龄估计值提高到了 200 亿岁之巨，而地球年龄仅约 45 亿岁。

baby universes 婴儿宇宙，通过虫洞相互连通的时空区。根据广义相对



一个婴儿宇宙。从我们的时空结构上可以‘挤出’一个新宇宙，就像在一个膨胀气球上挤出一个气泡一样。



根多婴儿宇宙。这个过程可以无限重复，所以我们的宇宙可能只是无穷的宇宙阵列中的一个泡。

论方程式的某些解释，当我们宇宙中一个天体坍缩形成一个黑洞时，它能够经过黑洞中心的奇点膨胀到一个不同的时空中去。这个从奇点膨胀开的时空区将完全等价于我们的宇宙从大爆炸奇点的膨胀。即使进入原始黑洞的物质只有太阳质量的几倍，这样一个婴儿宇宙却可以因暴涨而变得同我们自己的宇宙一样大。

很可能，我们的宇宙是以这种方式由另一个时空区中的黑洞坍缩成的，而时空总结构（'总宇宙'）是一系列相互连通的泡，就像一杯啤酒上面的泡沫，没有起始也没有终结。要说明这点，可将我们宇宙的时空想像成一个膨胀气球的外皮，婴儿宇宙就对应从这个气球上挤压出来并独立膨胀的一小块，从这个婴儿宇宙的皮上又会像芽体那样产生新的婴儿宇宙，依此类推，以至无穷。

虽然这些思想显得稀奇古怪，许多科学家，包括英国的斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）、美国的西德尼·科尔曼（*Sidney Coleman*）和李·斯莫林、俄国的安得列·林德，都对它们进行过认真的思考和数学上的研究。详细的讨论可参看约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]一书（企鹅出版社 1993 年出版）。

background radiation　背景辐射，宇宙充满了温度刚刚超过开氏 2.7 度、能用地面射电望远镜和人造卫星上的仪器探测到的辐射之海。这被解释为宇宙由之诞生的大爆炸火球的直接证据。因而背景辐射的发现，是自埃德温·哈勃发现宇宙膨胀以来宇宙学方面最重要的观测成就；然而这一发现可真是来之不易。

第一个试图定量描述大爆炸物理条件的人是乔治·伽莫夫。他在 1940 年代应用当时正在发展的量子物理学知识，研究宇宙诞生时应该发生过的核相互作用类型，他发现原始氢应该已经部分转变为氦（见αβγ理论）。

根据计算，通过这种方式产生的氦的数量，依赖于这些相互作用

发生时大爆炸的温度。它应该被一个热的、取X射线和γ射线形态的短波黑体辐射火球填充。伽莫夫小组领悟到，对应这个火球的热辐射，应该已经随着宇宙的膨胀而稀化和冷却，但仍然以高度红移了的射电波形态存在。

由于没有‘宇宙之外’的地方让这一辐射逃走，它就永远充满宇宙，宛如气球内部的气体永远充满气球。如果拉扯气球使它变大，但不让更多的气体进入，气球内部气体的密度将变小。同样，当宇宙膨胀时，充满它的辐射的密度也将变小。这对应着温度的降低和辐射波长的增加——红移。但是，虽然辐射已经冷却，它仍然应该像充满气球的气体那样均匀充满宇宙。它应该从空间所有方向照射地球，而宇宙膨胀引起的辐射波长被拉开的量，决定了它今天的温度。

伽莫夫的两位学生——拉尔夫·阿尔菲和罗伯特·赫尔曼——早在1948年发表的一篇论文中就计算出，要使大爆炸中‘烹调’的氦的数量匹配于光谱学揭示的老年恒星中氦的数量，大爆炸火球遗留下来的辐射现在应该具有仅仅5K的温度。伽莫夫自己1952年在他撰写的《宇宙创生》[2]一书中公布的数字要稍稍大些。

准确数字决定于对大爆炸物理条件所做的详细假设，也依赖于对宇宙年龄的估计。一种手工计算法则是，背景辐射的开氏温度等于10^{10}（1后面跟10个零）除以用秒数表示的宇宙年龄的平方根。所以，在时间开始1秒后的温度是100亿度、100秒后是10亿度，而1小时后就只有1亿7千万度了。与此相比，我们太阳中心的温度约1,500万度。

但不论是伽莫夫还是他的同事都未能意识到，给宇宙‘量体温’的技术在1950年代就已经存在了。他们既没有敦促射电天文学家进行本来可以揭示存在背景辐射的观测，看来也没有哪位射电天文学家注意到预言存在这种辐射的文章。然而稀奇的是，表明宇宙温度非常接近3K的观测，已经在1930年代用光谱方法做出来了。

那是对一种叫做氰（CN）的化合物做的光谱观测，揭示了我们银河系中星际物质云的温度。1940年，加拿大自治领天体物理台的安德鲁·麦克凯勒（Andrew McKellar）解释了这些观测，得出星际云的温度约2.3K。到1950年时，这一结果被写进了标准的教科书。但是，甚至伽莫夫也没有将它与预言的背景辐射温度联系起来。原因之一是，伽莫夫自己估计的温度，比麦克凯勒公布的温度和阿尔菲及赫尔曼估计的温度都要高很多。

1981年弗雷德·霍伊尔在《新

科学家》发表的一篇文章中，详细叙述了他1956年同伽莫夫交谈时如何提到麦克凯勒计算结果的情景。霍伊尔是稳恒态假说的热烈支持者，他不相信曾经有过大爆炸，所以他（当时）认为不存在背景辐射。伽莫夫则认为应该存在温度比5K高许多的背景辐射。霍伊尔记得他向伽莫夫指出，麦克凯勒已经为任何这种背景辐射规定了3K的上限，因此伽莫夫错了。他们两人的想像力都未能跨出事后看来并非很大的一步，因而没有领悟到，背景辐射确实无处不在，不过它的温度低于伽莫夫的预计值。

更奇怪的是，就在伽莫夫研究组1940年代发展他们的思想的同时，一组射电天文学家正在实际搜寻来自空间的低温辐射。罗伯特·狄克和他的同事们使用一台由战时雷达技术演变而来的仪器，在微波频段研究天空，发现了温度低于20K——这是仪器规定的极限——辐射的证据。他们的结果于1946年发表在《物理学评论》杂志上（70卷，340页），而在这同一卷上也发表了伽莫夫研究组关于核合成的第一篇论文（70卷，572页）——可是还要等待差不多20年才有人把它们联系起来。

到1960年代初，几个研究组，包括美国、英国和苏联的科学家们，已经开始考虑如何探测大爆炸的残留辐射——伽莫夫小组的先驱工作基本上被人们忘记了，而每个组都重新看到了可能性。在普林斯顿大学，一位年轻的科学家皮布尔斯（P.J.E. Peebles）不知情地重复阿尔菲和赫尔曼做过的计算，认识到宇宙应该充满温度为开氏几度的背景辐射之海。他在这项工作中的导师狄克，也忘记了他自己在1940年代的开创性成果，却指定另两位研究者——罗尔（P.G. Roll）和威尔金森（D.T. Wilkinson）——建造一具小射电望远镜来搜寻这一辐射。

1965年，就在他们一切准备就绪时，狄克接到阿尔诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）从30英里外的新泽西州霍姆代尔的贝尔研究实验室打来的电话。彭齐亚斯与他的同事罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）当时正在准备将一台本来是为回声通讯卫星设计的20英尺喇叭天线用于射电天文观测。他们发现了一个顽固的干扰源——均匀来自整个天空的微波射电噪声。他们想问问狄克及其同事们对这种噪声可能是什么有何见解。

当然，那就是背景辐射。理论和观测终于走到一起了。两个两人小组立即联合攻关。

普林斯顿小组很快证实了这些观测结果。两个小组的论文同时刊登在《天体物理学报》上。在随后

20年左右时间里，越来越多的观测，使用各种不同的仪器，在很多波段上，都证明了背景辐射的存在，将温度定格在2.7K，并且证明它是完美的黑体辐射。彭齐亚斯和威尔逊因这一偶然发现于1978年获诺贝尔奖。正是背景辐射的发现和解释，才使大多数天文学家承认确实曾经发生过大爆炸，它也使宇宙学成了一门兴旺的学科。

1980年代前，仍有一个与背景辐射有关的问题令人困惑。从太空所有方向来的辐射具有完全相同的温度，这太平滑和完美了。

现在已经得到可靠证明的大爆炸理论认为，从宇宙诞生大约30万年后的时刻以来，这一辐射应该没有发生过变化（红移和冷却除外）。而宇宙诞生30万年后，整个宇宙冷却到温度约6,000K，这大致是今天太阳表面的温度。在那个温度下，个别电子和核子能够结合形成稳定的原子，而原子没有任何净电荷。因为原子是电中性的，它们不能与电磁波强烈相互作用，所以从那时以来背景辐射没有受到干扰。

如果宇宙像背景辐射平滑性暗示的那样，在它诞生30万年后是完全平滑的话，那么星系、恒星和人类这样的事物是从哪里来的呢？我们要能存在，则宇宙在进入30万岁之前，一定已经含有一些不规则性——太空中的气体云，它们在自身重力作用下应该很快聚集、坍缩而形成星系和恒星。

理论声称，这些不规则性存在的结果，是背景辐射中应该有涟漪，也就是仪器指向天空不同部位时，温度应该有细微差异。预言的差异非常小，只能从高出地球大气干扰的太空进行测量。1992年4月，美国宇航局宣布COBE（宇宙背景探险者）卫星发现了涟漪，大小正好与标准大爆炸模型预言的准确符合。这个发现被欢呼为大爆炸理论的最后胜利，它证实宇宙真正是在一个确定的时刻、在一个热辐射火球中起源的。

因此，宇宙诞生方式的一个结果，是它今天充满了微波辐射，恰如微波炉中的微波，不过它的烹调温度相当低，比-270℃还要低一点。其实你并不需要用射电望远镜探测它。由于背景辐射在宇宙中无处不有，任何普通电视天线都能捕捉到。如果你将你的电视机调谐到电视台播送节目所用频率之间的某个频率，你将看到屏幕上全是跳动的白点，听到嘧嘧的噪声，这些白点和噪声有时称为天电。引起跳动的白点和嘧嘧的噪声的外来'信号'中，大约1%实际上是宇宙微波背景辐射，它是大爆炸直接播送到你居室中的。

补充读物：杰里米·伯恩斯坦

著《零上三度》[10]；马库斯·钟著《创造的余辉》[11]；乔治·伽莫夫著《宇宙创生》[2]。

Bahcall, John 巴科，约翰(1934–)，在太阳中微子问题研究中起过主导作用的天体物理学家。巴科出生在路易斯安那州的什里夫波特，1961年获哈佛大学博士学位。1960年代在印第安那大学和加州理工学院工作，1968年后一直在普林斯顿高级研究所，1971年起兼职普林斯顿大学。1962年，在威利·福勒的鼓动下，他与雷·戴维斯（Ray Davis）共同研究用地球上的探测器捕捉太阳中微子的可能性。

巴科是一位理论家，他从事太阳内部过程的计算，因而关注预期到达地球的中微子数量，而戴维斯是一位实验家，他领导的小组试图捕捉这些中微子。

巴科感兴趣的其他问题有，遥远星系和类星体的红移受到非宇宙学影响的可能性以及宇宙中暗物质的本质。这也是他的夫人奈塔（Neta）的兴趣所在，奈塔是观测天文学家，她对星系自转曲线的研究确认类似我们银河系的星系中存在暗晕。

Barnard's Star **巴纳德星**，已知自行最大的恒星，由美国天文学家巴纳德（E.E. Barnard）于1916年发现。巴纳德星运动极快，仅仅180年就在天空相对于背景恒星扫过半度距离（从地球上看的月亮角直径）。巴纳德星离我们1.8秒差距（约6光年），是离太阳系第四颗最近的已知恒星，但它是红矮星，太暗，肉眼看不见，属于到目前为止探测到的最暗恒星，其绝对星等仅相当于太阳亮度的1%。巴纳德星在天空上的路径有微小摆动，可能是围绕它运动的行星引力影响所致。

barred spiral **棒旋星系**，旋涡星系的一类，其旋臂与一个由恒星组成并通过星系中心的直棒相连。（参见28页的图。）

Barringer crater **巴林格陨星坑**，亚利桑那沙漠中一个直径1.2公里、深180米的巨大陨星坑，是大约5万年前一个陨星撞击地球而形成的。那个陨星的主要成分是铁，宽可达几十米。该陨星坑的名字取自矿业工程师丹尼尔·巴林格（Daniel Barringer），是他在20世纪初最先指出它是陨星撞击所造成，比人们普遍接受这一观点早50多年。

陨星的质量估计有几百万吨，进入地球大气的撞击速度在10~20公里每秒之间。撞击时释放约1千万吨TNT当量（撞击使动能转化为热能），相当于一枚大型核炸弹。类似的撞击如果发生在今天，将摧毁一座小城市，但这块不是地球遭受过的最大的陨星撞击（见世界末



棒旋星系。棒旋星系之一例。这是 NGC 5383，位置在猎犬座方向（但远得多）。

日小行星）。

难得的是，巴林格陨星坑位于沙漠中，这表示撞击的痕迹也保存了那样久。如果撞击发生在世界其他部分（比如森林或海洋），几万（甚或几十万）年后将不会留下可辨认的痕迹。平均说来，地球陆地大概每 1,000 年经受一次这样大的撞击，而陆地上每发生一次撞击，海洋中就会发生两次。

baryon **重子**，受强相互作用影响的基本粒子家族成员。惟一稳定的重子是质子和中子，而'重子物质'一词常指由质子、中子和质量小得多的电子构成的普通原子物质。

baryon asymmetry **重子不对称性**，见萨哈罗夫，安得列。

baryon catastrophe **重子灾难**，星系团热气体数量研究中遇到的难题。这些研究表明，宇宙中的重子对暗物质的比例太大，使得所有类型物质加起来的数量，不可能正好符合暴涨理论最简单版本的预言和使时空平坦（见宇宙模型）。

宇宙的大部分物质存在于某种不可见的形态中，这已得到可靠证

明。但是，当理论家愉快地以加进了冷暗物质、热暗物质、WIMP和混合暗物质等稀罕之物的各种数学模型自娱时，观测家却在慢慢揭示一个可厌的真理。尽管宇宙中确实有一些暗物质，却可能不如某些受到偏爱的模型暗示的那么多。

标准热大爆炸模型（掺进了暴涨理论要求宇宙存在的最初瞬间有一个极快膨胀阶段的概念）认为，宇宙中的物质应该很接近于既能使时空平坦、又正好防止它永远膨胀所需要的‘临界’数量。但是，早期宇宙中轻元素如何形成的理论（见核合成）限制普通重子物质（质子、中子及类似粒子）的密度只有这一数值的大约1/20，其余的宇宙绝大部分则（根据标准图景）由某种奇异粒子如轴子组成。这些粒子的存在虽然由标准粒子物理学理论所预言，但从未被直接观测到。在人们喜爱的冷暗物质（CDM）宇宙模型中，暗粒子对亮物质的引力影响导致了各种结构的产生，先是小尺度的，随着宇宙的演化，尺度越来越大。

暗物质的证据来自各种不同尺度上的观测。在我们银河系内，不可见物质至少同可见物质一样多。但对麦哲伦云中恒星的引力透镜效应观测表明，暗物质的这一特定成分可能是重子物质，既可以是大行星，也可以是叫做褐矮星的黯淡小质量恒星。根据恒星和气体云绕盘状星系外围运动的速率，也得到了存在更广延暗物质晕的证据，但这些仍然可能是重子物质。当我们着眼于单个的星系时，确实完全没有必要乞灵于CDM。

然而，没有理由认为星系的内含物能够代表整个宇宙。当一个原星系开始坍缩时，它应该已经含有了一般的重子物质混合物（热电离气体形态）再加上暗物质。暗物质是‘冷’的，就是说它的个别粒子的运动与光速相比是慢的，但与重子物质一样具有足够能量产生压力，将它们扩散到一个大空间中。重子因辐射电磁波而损失能量，所以它们很快冷却；气体云的重子成分失去热的支持，便下沉到原星系晕的中央，形成了我们今天看到的星系。这就使得不能冷却的暗物质（因为不辐射电磁波）扩散到一个大得多的范围。

因此，要找到更具代表性的混合物质，我们必须考察更大的、更晚形成且冷却作用较小的结构。这就是星系团。

一个典型的富星系团可能包含1,000个星系，支持它们对抗引力的是它们的无规速率。利用星系运动引起的多普勒效应，测出无规速率可超过1,000公里每秒。多普勒效应使得星系波谱中的特征不是向蓝端就是向红端位移（这与宇宙膨

胀产生的红移无关，后者必须从这些测量中扣除）。令星系的动能等于它们的引力势能，就可以估计出星系团的总质量。这样的计算最早是弗里茨·兹威基在1930年代完成的，他得出了当时令人惊奇的结论：星系只占总质量的很小部分。这个结论太不可思议了，致使许多天文学家将兹威基的发现忽略了几十年之久。

在当时既没有粒子物理学实验背景，又缺少今天已知的宇宙模型的情况下，天文学家如果热心于试图通过观测将这种失踪物质证认为热气体的话，应该说是情理之中。然而却没有人这么做，这也许是因为气体的物理条件使它不能用任何当时的手段探测到。气体粒子的运动速率与星系的相近，这相当于气体温度约1亿度——足以从原子核剥去除束缚最牢固的以外的全部电子，留下带正电荷的离子。这种电离气体的辐射主要在可被地球大气吸收掉的X射线波段。直到1970年代发射了X射线卫星天文台，才发现星系团是非常明亮的X射线源，人们终于认识到，热气体，或星系团内物质（ICM），是不能忽略的（见X射线天文学）。

现在已经知道，ICM是星系团的一个很重要的成分。它不单是含有比星系更多的物质，它的温度和空间分布还可用来查找引力势，因而能够以比单用星系高得多的精度算出星系团的总质量。要得到气体的总质量，需要考察辐射速率。这一辐射是相反电荷粒子（离子和电子）之间的碰撞产生的，因而依赖于气体密度的平方。我们观测的是投影发射，就是假设星系团是球对称的并被压扁在天空平面上，这样比较容易进行换算以求出密度如何随着离星系团中心的距离而变化。结果发现气体延伸范围比星系宽广得多，在有些情况下可追踪到离星系团中心几百万光年之处。星系不过是在星系团核心部位占支配地位，而在作为整体的星系团内，气体的数量至少是星系形态物质的3倍，而且可能还要多得多（不可靠的已经不是气体的质量，而是星系的质量了）。但是，甚至气体和星系加在一起的质量也比星系团的总质量少，说明还应该存在大量暗物质。

支撑热气体对抗星系团内引力坍缩的是气体的压力梯度。要从观测中惟一地推导它，我们需要知道温度如何随着到星系团中心的距离而变。可惜用现有的X射线望远镜还做不到这点[①]（虽然日本的AS-

① 美国宇航局1999年7月发射的钱德拉卫星已能直接同时测定星系团热气体的密度和温度轮廓。——译注

CA——宇宙学和天体物理学高能卫星——带来了这种可能性),因而必须规定一些简化假设。通常认为,气体是等温的——在整个星系团范围内温度处处相同。这与观测结果、与证明星系团内星系无规速率和气体温度都很少变化的数字模拟结果均相符。气体温度当然可能在星系团外围部分下降——不过这种情况倾向于减小总质量的估计值。

剑桥天文研究所的大卫·怀特(David White)和安迪·法比安(Andy Fabian)在1995年发表的一项研究中,检验了爱因斯坦卫星得到的19个亮星系团的数据。他们将气体质量与星系团总质量进行比较,得出气体占10%~20%,平均值约15%。如果加上星系的质量,这些数值还要增加(总质量的)1%~5%。所以,星系团的总重子含量远远大于平坦宇宙标准CDM模型预言的5%。仍然需要某种暗物质(这会使粒子物理学家高兴),但现在只要重子物质的5倍,而不是20倍了。由于大爆炸模型仍然认为只有临界密度的5%可以采取重子形态,这就意味着,如果星系团中的物质分布对整个宇宙具有代



重子灾难。后发座星系团的核心区。整个星系团的距离超过100百万秒差距,大小为50万秒差距。

表性的话，那么即使将暗物质包括进去，总共也只能有临界密度的30%左右。要想保持密度参数的高数值，就必须允许宇宙总质量中有比5%多得多的物质存在于重子之中，可是这又被原始核合成规则所禁止。

怎样解决这个问题呢？模型本身就有很多不确定性（比如，气体可能结成团块或者不是等温的），但这未必能使结论改变很多。然而有一个比较大的不确定性，就是星系团的距离，而星系团的距离又决定于自大爆炸以来宇宙膨胀到目前大小的速率，也就是所谓的哈勃常数。到现在为止，我们一直假定哈勃常数是50公里每秒每百万秒差距，这接近可接受范围的低端，对应一个大而年老的宇宙。这表示，一个位于1百万秒差距外（离我们100万秒差距或326万光年）的星系，由于宇宙膨胀，正以50公里每秒的速率离开我们，等等。

在宇宙模型中，当哈勃常数变小时，计算的重子份额将增加，但来自原始核合成的重子份额的预言值甚至增加得更快，从而使两者之间的差异缩小。让哈勃常数取足够小的值，就能使两者达到一致，然而远在达到一致之前，重子份额早就等于1了。既然不可能有大于100%的宇宙质量取重子形态，这种一致就可以反过来给哈勃常数规定一个绝对下限，这个下限值约等于14，单位如常。很少天文学家会赞赏如此极端的数值。不过值得指出，有一个估计哈勃常数的新方法（根据苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应），就是测量星系团热气体对通过它的背景辐射的影响，来决定宇宙膨胀有多快。这个方法刚刚起步，但首批结果业已得出小的哈勃常数值，甚至可能小于50。

因此，标准模型的某个主要基础看来必须放弃。这些基础中，最不重要的是暗物质必须是‘冷’的。由产生于大爆炸并以接近光速运动的粒子（如中微子）构成的热暗物质，因其粒子高速无规运动而不能有效聚集成团。乍看起来，你也许会猜测有大量热暗物质充满星系团之间的空间，致使星系团也不能代表宇宙物质的分布。但是，热暗物质不能超过暗物质总量的1/3，因为热暗物质和普通重子物质之间的相互作用，将减缓星系和星系团这类结构的发展，使它们的形成推迟；而这却又与观测到的遥远年老射电星系和类星体的数量相矛盾。

我们肯定无法让已经发现的重子物质退出舞台，而且它们的数量可能比我们估计的还要多。如果对星系团周围更大范围进行同样的分析，大概会得出更大质量份额是在气体中，因为星系本身团聚在星系团的中心。在有些情况下，热气体

形态的物质多达星系团质量的一半。一般说来，气体的加热倾向于将它从星系团赶走，这进一步加剧了重子矛盾——如果星系团之外还有冷重子物质，那么普通物质甚至比观测到的更多。有人认为，星系团可以含有多余的重子，因为它们处在宇宙中的大规模爆发产生的巨大空穴边缘，由扫荡到那里的气体团形成的。但遗憾的是，这样的模型看来已经被排除了，因为它们将在宇宙微波背景辐射中引起过度的畸变。

还有人抛出了非标准核合成观念：比方让重子丰度随地点而变。这可以在一定程度上放宽重子份额的上限，但这些模型的人为性太明显，而且无论怎样努力也不如标准模型成功。

剩下的是最简单的解释，也是大多数宇宙学家最不愿意接受的解释，那就是宇宙的质量密度大大小于临界密度。如果'你看到的就是你拥有的'，那么宇宙含有的物质总密度约为临界密度的30%，其中多达25%是重子物质。其余75%的宇宙物质应该主要是冷暗物质，也许还有少量热暗物质。而哈勃常数，也可能如某些新近观测所表明的那样，比50高出很多。

如果宇宙学家想维护宇宙暴涨理论预言的空间上为平坦宇宙的思想，他们可能不得不重新引进宇宙学常数的概念。

不管这个问题的最终解决为何，它无疑将导致宇宙学思想的根本改造。这种情况确实正在发生，因为有些宇宙学家已经开始寻找重新塑造他们钟爱的暴涨概念的途径，希望得到一个使密度参数在整个可观测空间可取0到1之间任意数值的宇宙（见本书导言：我们来自何方?）。

补充读物：约翰·格里宾和马丁·里斯著《宇宙的原料》[5]。

baryon fraction **重子份额**，以重子形态存在的宇宙质量所占的比例。如果宇宙是真正封闭的，因而时空是平坦的（见宇宙模型），则重子份额大约是1%（最多5%），而宇宙的绝大部分存在于暗物质中（请参看重子灾难）。

Beijing Astronomical Observatory **北京天文台**，中国科学院下属的研究机构，拥有使用光学和射电望远镜从事天体物理观测的五个观测站。

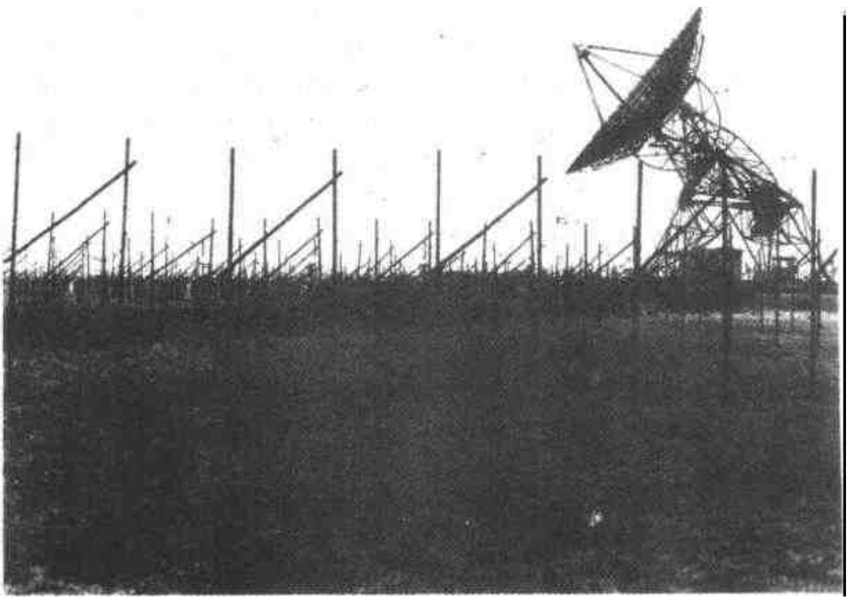
Bell Burnell, (Susan) Jocelyn **贝尔-伯内耳，(苏珊)乔丝琳(1943-)**，1967年还是一位学生时发现脉冲星的观测天文学家。

乔丝琳·贝尔1943年7月15日出生在北爱尔兰的贝尔法斯特。她的父亲是她儿时家居附近的亚尔马天文台的建筑设计师，从小就培育了她对天文学的兴趣。在约克郡上完中学后，贝尔就读于格拉斯哥大

学，1965年毕业。然后到剑桥在安东尼·休伊什（Anthony Hewish）指导下开始攻读博士，期间参与建造一台观测射电源亮度快速变化的特殊类型射电望远镜。这种与星光闪烁类似的快速变化叫做射电闪烁，是类星体这类遥远射电源的射电波通过太空带电物质云（等离子体）时产生的。等离子体是由太阳抛出，所以闪烁在白天更为明显。

这台望远镜不像传统的射电望远镜，倒像一片果园。在面积达4.5英亩的场地上摆放着2,048个偶极子天线。每个天线（一种杆状天线）安装在一个直立柱上，离地面2米，很像四方索具船上的交叉帆桁端。贝尔的任务之一是将天线正确连接，这样就能合并它们的信号，借助地球自转扫描天空的一个带。

1967年夏天，贝尔将这一系统投入运行，开始用它搜寻尚未发现的类星体。当年8月6日，她发现一种无法用闪烁解释的奇怪信



乔丝琳·贝尔－伯内耳用来发现脉冲星的射电望远镜。原型占地面积4.5英亩，照片中是扩充后的望远镜，占地面积加倍。（背景上的大抛物面天线是赖尔望远镜的一部分。）

号，多次重复的观测表明这种信号总是在晚间的同一时刻来自天空的同一部位（因而射电波不是通过与太阳有关的等离子体云）。它也不能解释为人类活动的干扰。

到11月，情况已经明朗，她发现了一个以正好1.3秒的准确周期变化的天文射电源，连续的观测将这一周期改进到1.33730113秒。这一非凡的精度促使休伊什及其小组认真考虑它也许是外星人安放的某种星际射电灯塔的可能性，剑桥的这些射电天文学家相互之间提到这个源时已经用'LGM1'（LGM是'小绿人'的英文首字母）来称呼它了。

就在1967年圣诞节前，贝尔发现了第二个类似的源，其周期是1.27379秒，随后很快又发现两个，周期为1.188秒和0.253071秒。随着类似天体数量的增加，人们也日益清楚认识到它们是自然现象，并将它们称为脉动射电源，后来很快又简化成脉冲星。1968年2月《自然》杂志的一篇论文宣布了这类新型天体的发现。

1968年因这项工作获得博士学位后，贝尔先后在南安普敦大学从事γ射线天文学研究，在马拉德空间科学实验室从事X射线天文学研究，在爱丁堡皇家天文台从事红外、光学及毫米波天文学研究，1991年以来任奥本大学物理学教授。

1974年，休伊什因在脉冲星发现中做出部分贡献被授予诺贝尔奖。诺贝尔委员会曾经做过很多奇怪的决定，把贝尔排除在受奖人之外（大概是因为她做出这项发现时'不过'是一位学生吧）是最令人震惊的决定之一。可能部分由于1974年事件造成了惊愕，后来给脉冲双星的发现颁发的诺贝尔奖，由实际做出发现的学生和他的导师所分享。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]。

bending of light 光线弯曲，见光线偏折。

Beta Centauri 半人马座β，南天半人马星座中第二颗最亮的恒星。半人马座β是一颗很亮的巨星，离我们130秒差距，比半人马座α远100倍。

beta decay β衰变，独立的或原子核内的一个中子发射一个电子（又叫做β粒子）和一个反中微子而转变为质子的过程。这个过程如果发生在原子核内，核的电荷增加一个单位，变成另一种元素的核。

Beta Lyrae variables 天琴座β型变星，食双星的一类，其中一个子星已膨胀到充满了洛希瓣，并将物质泄漏给伴星。泄漏的物质形成一个围绕伴星的吸积盘。由于双星中只有一个子星充满洛希瓣，所以有时称

这样的系统处于‘半接’状态；某些类似的半接双星中可能藏有黑洞。

Betelgeuse **参宿四**，猎户座肩膀上（从北半球看，在猎户座的左上方）的一颗明亮红色恒星。参宿四又叫做猎户座 α，是一颗距离 200 秒差距的红超巨星，它的直径是太阳直径的 800 倍，是直接用干涉测量法得到的。

Bethe, Hans Albrecht **贝特，汉斯·亚布勒希特**（1906 – ），生于德国的美国物理学家和天文学家，以解决恒星从核聚变反应获得能量的机理问题而最为著名。



汉斯·贝特（生于 1906 年）。

贝特 1906 年 7 月 2 日生于德国斯特拉斯堡（今法国斯特拉斯堡），其父为生理学教授。贝特本人求学于法兰克福大学和慕尼黑大学，1928 年获博士学位。其后五年他在法兰克福、慕尼黑和图宾根大学工作。但纳粹党在德国兴起后，他被迫放弃了他的职务（他的母亲是犹太人）。他先去了英国，然后于 1935 年移居美国。从 1935 年直至 1975 年退休，他是康奈尔大学的物理学教授（1937 年前是助教）。

贝特对物理学——包括核物理学和固体物理学——做出了很多重要贡献。他从事过军用雷达的研制，参加了新墨西哥州洛斯阿拉莫斯实验室的曼哈顿计划（研制原子弹），后来他还被任命为与苏联谈判限制核武器的美国代表团成员。但使他最出名的则是天体物理学方面的两大贡献——其中一个确实是他做出的，另一个却不是。

1938 年前，天体物理学家已经知道恒星的能量必定来源于核过程，但不知道是哪些核过程。伽莫夫在问题刚刚获得解决后写的题为《太阳的诞生和死亡》[13] 一书中，描绘了 1938 年 4 月在哥伦比亚特区华盛顿举行的一次讨论这个问题的会议中，贝特是多么富于急智。根据传说（和伽莫夫的描绘），贝特坐上火车刚刚动身返回康奈尔，他决定在服务员叫乘客就餐之前解

决这个问题——他这样做了，节省了那么点儿时间。

贝特在那次火车旅行中找到的核能产生过程，现在叫做碳循环或者碳氮氧（CNO）循环。它也大致同时由柏林的卡尔·冯·魏扎克（Carl von Weizsäcker，1912－）独立发现，但魏扎克缺少一位伽莫夫那样热情奔放的人宣传他的贡献。

回到康奈尔后，贝特与他的同事查尔斯·克里奇菲尔德（Charles Critchfield）合作，又发现恒星可以获得能量的另一条途径，就是叫做质子－质子反应或 p-p 链的过程。现在公认，质子－质子反应是生产了中心温度约开氏 1,500 万度的类似太阳的恒星以及更冷恒星内部大部分能量的机理；而 CNO 循环则在中心温度高于 2,000 万度的较大质量恒星内部起重要作用。

几年后，1940 年代中期，伽莫夫在他和阿尔菲撰写的论文上添加了贝特的名字，使贝特无意间成了这一著名恶作剧的同谋。这篇文章论述了大爆炸中的原始氢部分转变为氦的过程，加上贝特的名字不过是让三名作者听起来像希腊字母表的头三个字母而已（见αβγ 理论）；贝特根本没有参加这项研究，但甚至今天的一些参考书仍然让他分享荣誉。

贝特也研究过超新星的理论模型。1967 年因恒星内部产能机理的研究成果获得诺贝尔奖。虽然他在 1975 年正式退休，但继续积极从事研究，而且在 1986 年出现在媒体大字标题中。当时他注意到两位苏联科学家米凯耶夫（S.P. Mikheyev）和斯米尔诺夫（A.Yu. Smirnov）根据美国物理学家林肯·沃尔芬斯坦（Lincoln Wolfenstein）的建议找到解决太阳中微子问题的一个可能办法，便加以宣传。这个所谓的 MSW 过程涉及太阳内部的产能方式。这位年届八十的科学家，在几乎 50 年后回到他曾经起过先驱作用的研究领域时，表现出人类特有的好奇心，同样发挥了科学家和普及家应该具备的想像力，使 MSW 思想一下子传播开来。

补充读物：杰里米·伯恩斯坦著《汉斯·贝特》[14]；约翰·格里宾著《眩目的光芒》[15]。

Big Bang 大爆炸，势不可挡的大量证据使多数天文学家确信，宇宙是在大约 150 亿年前的某个确定时刻、在一种超热超密的高能辐射火球形态中诞生的。这就是叫做大爆炸的宇宙起源模型。大爆炸这个名词实际上是弗雷德·霍伊尔在 1940 年代末创造、用来嘲笑这个在他看来'精美得就像蛋糕中跳出来的交际花'的理论的。霍伊尔是对立的稳恒态假说的创始人之一，现在仍是吵得最凶的大爆炸思想的反对者之一，不过他的名声已经大不如前

了。

1920年代前，天文学家一直以为宇宙仅由我们现在所知的银河系构成，而且是永远不变。个别恒星可以度过它们的一生而死亡，但新的恒星会诞生并取代它们。

关于宇宙可能随时间流逝而变化（演化）的第一个明确提示，是爱因斯坦发展他的广义相对论时出现的。当时的时空理论对宇宙进行了完全的数学描述（模型）。1917年爱因斯坦发现，当他试图以这种方式将他的方程式应用于描述作为整体的时空时，它们竟然不能表示一个静止的、不变的宇宙。这些方程式表明，宇宙必须要么膨胀，要么收缩，而不能静止。因为当时没有膨胀或收缩的天文证据，爱因斯坦就在他的方程式中引进一个附加项，称为宇宙学常数的虚假因子，来维持模型静止。后来他自称这是他整个生涯的‘最大失误’。

其他研究者，特别是荷兰的威廉·德西特（Willem de Sitter）和苏联的亚历山大·弗里德曼（Alexander Friedman），也求出了爱因斯坦方程式的解。这些解描述了各种不同的宇宙模型，却全都有着内在的演化倾向。有些模型开始很小但永远膨胀；有些膨胀到一定大小然后坍缩。有一个模型开始很大，收缩到一定大小然后再度膨胀。另一组解则循环重复膨胀和坍缩，在达到很小时‘反弹’。

这些数学模型对真实宇宙的现实意义到了1920年代开始趋于明朗。埃德温·哈勃和其他观测者证明，不仅我们的银河系只是宇宙中众多星系中的一个，而且星系因宇宙膨胀而在互相分开（见红移）。换言之，以不含宇宙学常数的爱因斯坦方程式为依据的最简单宇宙模型，实际上是整体宇宙行为的极佳描述。

到1930年代初已经很清楚，宇宙正在膨胀，并带着星系相互分离，因为星系间的空间在扩大。星系并非通过空间运动（至少在我们仅仅考察这个宇宙学膨胀时是如此），而是被空间的膨胀带着遨游。这可以比喻为葡萄干面包中的葡萄干。当生面团发起来时，葡萄干被带着彼此远离，它们并不是在生面团中穿行。

但这个比喻并不准确，因为葡萄干面包同宇宙不一样，它有一个中心和一个边界。爱因斯坦方程式则表明宇宙既无中心亦无边界，这或是由于宇宙是无穷的，或是由于时空轻微弯曲而使自身等价于一个四维的球面。

在这种情况下，就像你从纽约出发沿地球表面的直线旅行又能回到纽约一样，你将能沿宇宙中的直线启程，完成环宇宙航行后，（终于！）返回到你的出发点。宇宙没

有中心，就像地球表面和肥皂泡表面没有中心一样。

1930和1940年代，宇宙学家开始尝试同这些思想妥协。新发现的最重要暗示是，宇宙在时间上必须有一个确定的起点。如果想像将我们今天看到的宇宙膨胀反演，那么，随着空间的缩小，到某个时候全部星系必定彼此挤成一团。在那之前，恒星必定曾经彼此接触，融合成与恒星内部一样热（开氏1,500万度）的大火球。

爱因斯坦方程式实际上认为你还可以往回走得更远，抵达宇宙全部物质和能量从一个大小为零的奇点浮现出来的那个时刻。但大爆炸思想开始时并未推进到如此极端。

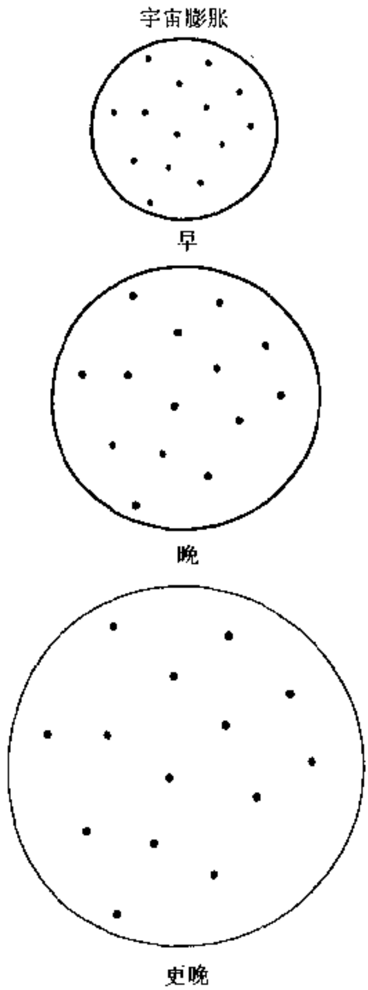
第一个现在看来仍算得上数的大爆炸模型，是比利时天文学家乔治·勒梅特（Georges Lemaître）在1927年提出的。勒梅特没有将相对论方程式一直回推到奇点；他是从宇宙全部内容物挤压在比太阳大30倍的球内那个时刻开始、从膨胀方面描述宇宙的诞生。他把这样一个球称为‘原始原子’（也叫做‘宇宙蛋’，但用得较少）。勒梅特提出，由于不明的原因，原始原子爆炸开，破裂成碎块，这些碎块后来形成了我们看到的各种宇宙成分。

很多人误解了这个思想，以为它暗示原始原子在‘虚无空间’之中像炸弹爆炸那样向外炸开。但请记住，时空，还有物质和能量，都包在宇宙蛋里面，没有什么‘外部’可以让‘炸弹’炸出去，它的膨胀是由空间本身膨胀、逐渐拉伸而造成的。

1940年代，乔治·伽莫夫将大爆炸思想向前推进了一步。他阐明了早期宇宙火球中发生的核反应如何能够将氢转变成氦，解释了极年老恒星中这两个元素的比例，并预言存在背景辐射。到1960年代前，宇宙学家已经准备好‘将时钟倒拨’到整个宇宙中的物质密度大致与今天一个原子核的密度相同的那一刻。他们觉得，他们对核相互作用已经懂得很多，足能计算出宇宙是如何从那个时刻演化过来的，而那些计算就成了大爆炸标准模型。

如果我们原原本本按照爱因斯坦方程式的说明（见霍金），将宇宙从奇点中显露出来的时刻定义为时间起点，大爆炸标准模型就能讲出从这一创造时刻之后0.0001（10^{-4}）秒以来发生的全部故事。在那一刻，宇宙的温度是10^{12}K（1万亿度），密度是核物质的密度10^{14}克每立方厘米（1克每立方厘米是水的密度）。

在这些条件下，‘背景’辐射的光子带有极大的能量，得以按照爱因斯坦公式$E = mc^2$与粒子互换。于是光子创造粒子和反粒子



大爆炸。宇宙膨胀时，所有星系团都远离其他所有星系团而运动，就像一个膨胀气球表面上的斑点彼此远离一样。并非星系团在空间穿行引起它们之间距离的增加；而是星系团之间的空间在膨胀。

对，比如电子-正电子对、质子-反质子对和中子-反中子对，而这些粒子对又能够在不断的能量交换中相互湮灭而生成高能光子。火球中还有很多中微子。由于基本相互作用运转中的细微不对称性，粒子的产量比反粒子的产量稍微多点儿——每10亿个反粒子有大约10亿零1个粒子与之相配。

当宇宙冷却到光子不再具备制造质子和中子的能量时，所有成对的粒子都将湮灭，而那十亿分之一的粒子留存下来，成了稳定的物质。

时间起点之后0.01秒、温度降至开氏1千亿度（10^{11}K）时，只有较轻的电子－正电子对仍在蹦蹦跳跳与辐射相互作用，质子和中子则逃过了灾难。那时，中子和质子的数量相等，但随着时间的推移，与高能电子和正电子的相互作用，使天平稳步朝有利于质子的一边倾斜。时间起点之后0.1秒时，温度降到开氏300亿度（3×10^{10}K），中子数与质子数的比降低到38:62。时间起点之后约1/3秒时，中微子除（可能的）引力影响（见暗物质）外停止和普通物质相互作用而'解耦'。

当宇宙冷却到10^{10}K（开氏100亿度），即时间起点之后1.1秒时，它的密度降低到仅仅水密度的38万倍，中微子已经解耦，天平进一步朝质子倾斜，中子与质子之比变为24:76。宇宙冷却到开氏30亿度、时间起点之后13.8秒时，开始形成由一个质子和一个中子组成的氘核，但它们很快被其他粒子碰撞而分裂。现在，只有17%的核子是中子。

时间起点后3分零2秒时，宇宙冷却到了开氏10亿度，仅比今天的太阳中心热70倍。中子占的比例降至14%，但它们避免了完全退出舞台的命运而幸存下来，因为温度终于下降到了能让氘和氦形成、且不致被其他粒子碰撞而分裂的程度。

正是在时间起点后第四分钟这个值得纪念的时期，发生了伽莫夫及其同事在1940年代概略描述、霍伊尔及其他人在1960年代细致研究过的那些过程，将幸存的中子锁闭在氦核内。那时，转变成氦的核子总质量是中子质量的两倍，因为每个氦核（He－4）含两个质子和两个中子。到时间起点之后4分钟时，这个过程完成了，刚刚不到25%的核物质转变成了氦，其余的则是独身的质子——氢核。

时间起点之后略晚于半小时的时候，宇宙中的全部正电子已经同几乎全部电子湮灭了，产生了严格意义上的背景辐射——不过还是有与质子数相等的十亿分之一的电子保存下来。这时温度降到了开氏3亿度，密度只有水密度的10%，但宇宙仍然太热，不能形成稳定的原子；每当一个核抓到一个电子，电子就会被背景辐射的高能光子打跑。

电子和光子之间的这种相互作用持续了30万年，直到宇宙冷却到6,000K（大约是太阳表面的温度），光子疲弱到再也无力将电子打跑。这时（实际上还包括随后的50万年间），背景辐射得以解耦，与物质不再有明显的相互作用。大

爆炸到此结束，宇宙也膨胀得比较平缓，并在膨胀时冷却。由于引力试图将宇宙往回拉到一起，它的膨胀也越来越慢。

所有这一切都能在广义相对论——经过检验的可靠的关于引力和时空的理论——和我们关于核相互作用的知识——同样是经过检验和可靠的——框架内得到很好的理解。大爆炸标准模型是一门坚实可靠值得尊敬的科学，但它也留下了一些尚未得出答案的问题。

在时间起点之后1百万年前后开始，恒星和星系得以形成，并在恒星内部把氢和氦加工成重元素(见核合成)，而终于产生了太阳、地球和我们人类。但是，天体物理学家仍然没有一个完全令人满意的星系形成理论。

除了宇宙起源问题外，1970年代的大爆炸标准模型未能回答的大问题是关于宇宙的最终命运。它将永远膨胀（'开放'模型）下去，抑或某一天将停止膨胀而后坍缩到大崩塌（'封闭'模型)？两种可能性都是爱因斯坦方程式允许的。宇宙的命运决定于它拥有的物质数量，因此也就是决定于力图迫使膨胀停下来的引力有多强。

恒星和星系形态的可见物质肯定不足以使宇宙封闭。但我们知道宇宙中还有大量的暗物质。1980年代中期之前，宇宙学家对从时间起点到0.0001秒这段时间（极早期宇宙）内发生过什么事情的认识有了发展，提出了叫做暴涨的理论。这个理论认为，宇宙差不多准确地坐在开放和封闭之间的分界线上（也就是接近于'平坦'），不过正好在封闭一边。

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]；史蒂文·温伯格著《最初三分钟》[17]。

Big Bang nucleosynthesis　大爆炸核合成，见核合成。

Big Crunch　大崩塌，大爆炸的对立面。如果宇宙含有足以使时空封闭的质量，引力就将在某一天使现今的膨胀停止，然后引起坍缩，并在时间终点进入一个奇点，即大崩塌。见奥米伽点。

billion　十亿，10万万，即10^9。

binary pulsar　脉冲双星，两颗中子星，其中一颗是脉冲星，沿轨道相互绕对方运动而成的双星系统，叫作脉冲双星。这个名词也用来代表绕任一其他恒星，比如白矮星，运动的脉冲星。现在已知的脉冲双星超过20个。但天文学家将名词

'该脉冲双星'①保留给第一个被发现的脉冲双星，根据它在天体表中编号又称为 PSR 1913+16。这个脉冲双星提供了对爱因斯坦广义相对论迄今最精确的检验。

脉冲双星 PSR 1913+16 是 1974 年由马萨诸塞大学的罗素·胡尔斯（Russell Hulse）和约瑟夫·泰勒（Joseph Taylor）使用放在波多黎各的阿雷西博射电望远镜发现的。胡尔斯当时是研究生，主持一项用该望远镜搜索脉冲星计划的日常工作。他的导师泰勒则是这一计划的总负责人，1974 年夏天定期从马萨诸塞的阿默斯特飞往阿雷西博。他们在那个夏天做出的发现异常重要，并于 1993 年双双因脉冲双星研究而获诺贝尔奖。

8 月 2 日，仪器记录到一个很微弱的信号，是该脉冲双星存在的第一个迹象。如果信号再微弱哪怕 4%，它就低于计算机搜索程序的内置截止电平，而不会记录下来。这个源特别有趣，因为它的周期非常短，仅 0.059 秒，是当时已知第二位最快的脉冲星。但一直要等到 8 月 25 日，胡尔斯才得以用阿雷西博望远镜更详细地观测这个天体。

8 月 25 日后，胡尔斯连续几天对该脉冲星做了一系列观测，发现它的变化很特别。大多数脉冲星都是超级精确时钟，打拍子的周期精确到小数点后 6 或 7 位；而这一个的周期似乎飘忽不定，逐日变化量多达 30 微秒（对脉冲星来说是极大的'误差'）。到 1974 年 9 月初，胡尔斯明白了，这些变化本身也是周期性的，并可用脉冲星在严格轨道上绕一颗伴星运动引起的多普勒效应来解释。

泰勒飞到阿雷西博参与这项研究，他同胡尔斯一起求出脉冲星绕其伴星运动的轨道周期（脉冲星的'一年'）是 7 小时 45 分钟，脉冲星运动的最高速率（根据多普勒效应）300 公里每秒，是光速的千分之一，而绕伴星飞驰的平均速率约为 200 公里每秒。以这一令人惊讶的速率在不到 8 小时内走完的轨道长度大约是 600 万公里，大致是太阳的周长。换言之，脉冲星和伴星之间的平均距离大约等于太阳的半径，所以整个双星系统刚刚可以放在太阳的内部。

所有脉冲星都是中子星；对这

① 原文是带定冠词的单数名词'the binary pulsar'，特指第一个被发现的脉冲双星。因中文表达方式的限制，译文将根据上下文的具体情况，将'the binary pulsar'译为'该脉冲双星'或'这个脉冲双星'或它的专有名称'PSR 1913+16'（PSR 代表脉冲星）。——译注

个天体来说，其轨道参数表明伴星也一定是个中子星。广义相对论的关键检验之一是水星的近日点进动，就是爱因斯坦理论而不是艾萨克·牛顿引力理论预言的轨道位移。这两位研究家计算出，脉冲双星PSR 1913+16的这一效应（‘近星点’位移）比水星的强100倍左右。而且，水星每年绕太阳仅仅运行四次，而这颗脉冲星绕伴星每年可运行1,000次，它提供研究这个效应的机会多得多。测量及时完成，结果证明该脉冲双星的近星点进动准确地与爱因斯坦理论预言一致——这是利用太阳系外天体对广义相对论的首次直接检验。将近星点位移的测量结果与双星系统的轨道数据结合，终于以空前的高精度定出系统中两颗星的质量为太阳质量的2.8275倍。

但这还只是利用这颗脉冲双星作为检验和应用爱因斯坦理论的实验室的开始。持续几个月的进一步观测表明，只要扣除了轨道运动引起的变化，该脉冲星作为时钟的精度极高。它那0.05903秒的周期在一年之内仅仅增加1/4毫微秒（十亿分之一秒的四分之一）——相当于一百万年仅仅慢4%的钟。

随着观测数量的增加，有关数字也愈益精确：周期0.059029995271秒；增长速率0.253毫微秒每年；轨道周期27906.98163秒；近星点变化速率4.2263度每年。因为脉冲星的周期实际上在变化，上述高度精确的数字是对一个特定日期，或‘历元’而言的，这个历元就是1974年9月1日。

高的观测精度很快就使相对论的更多检验和应用成为可能。其中一个检验涉及狭义相对论预言的时间膨胀。由于脉冲星绕伴星运动的速率达到光速的相当大部分，观测表明脉冲星的‘钟’在变慢，变慢的程度与它的速率有关。由于沿轨道运行时速率在变（从最高速率300公里每秒到‘仅仅’75公里每秒），这将表现为脉冲星周期在每个轨道周期中的规则变化。又由于脉冲星绕伴星运动的轨道是椭圆，它离第二颗中子星的距离在变。这表示它从引力场较强的区域运动到引力场较弱的区域，它的守时装置就应该受到规则变化的引力场的影响。

这两个效应结合使脉冲星周期在一个轨道周期内的最大变化为58毫微秒。这个变化量可引入轨道计算以决定两颗星的质量比。由于近星点位移表明两星总质量为2.8275个太阳质量，这个数值与两星质量比一起，给出脉冲星本身的质量为太阳质量的1.42倍，其伴星的质量是太阳质量的1.4倍。这是中子星质量的第一次精确测量。

但是，研究PSR 1913+16的最

大胜利还在后头。在宣布发现这颗脉冲星后，几乎立刻就有几位相对论专家指出，理论上该脉冲双星应该因引力辐射而损失能量，在时空中产生涟漪。能量的损失将使脉冲星及其伴星彼此盘旋接近，从而导致轨道运动加快。

即使在脉冲双星这样极端的情况下，这个效应也是非常小的。它将引起轨道周期（约 27,000 秒）每年仅减少一千万分之几秒（约 0.0000003 秒）。理论倒是直截了当，却要求观测必须达到空前的精度。1978 年 12 月，也就是工作了 4 年之后，泰勒宣布测出了这一效应，而且它与爱因斯坦理论的预言完全相符。理论的准确预言是，轨道周期应该每年减少百万分之 75 秒；到 1983 年，即该脉冲双星发现 9 年后，泰勒及其同事测量这一变化的精度达到了每年百万分之二秒，公布的观测值为每年百万分之 76±2 秒。此后，观测进一步得到改进，与爱因斯坦理论达到高度一致，误差小于 1%。这是迄今对广义相对论最轰动、最全面的检验，它实际上排除了任何其他理论作为宇宙行为可靠描述的可能性。检验的精度如此之高，与理论的一致如此之佳，使得广义相对论和量子电动力学被并列为整个科学中基础最稳固的两门学科。

原则上，脉冲双星 PSR 1913+16 以及其他类似系统，提供了比任何人造钟，包括最准确的原子钟，更加精确的时间测量手段。如果我们测量单个脉冲双星的变化时只有原子钟，我们将永远无法证明这一切。但如果将至少三个脉冲双星的信号与原子钟的信号以及相互之间进行比较，就应该有可能创立一种利用（经过相互校准的）脉冲星守时的办法，来改进原子钟的守时。就像现在用铯原子行为而不用地球自转定义秒的长度一样，将来某一天用脉冲双星来定义秒的长度并非不可能。

补充读物：克利福德·威尔著《爱因斯坦是对的吗?》[18]。

binary stars 双星，两颗彼此有物理联系并在共同引力作用下相互环绕作轨道运行的恒星组成的双星系统。双星系统的两颗恒星通常遵守开普勒定律、沿着围绕系统质心的椭圆轨道运动。大多数恒星是在双星或更复杂的聚星系统中。

双星在天体物理研究中极为重要，因为对它们轨道的分析提供了直接测定恒星质量的惟一方法。第一个双星是 1650 年由耶稣会天文学家约安尼斯·里肖利（Joannes Riccioli, 1598 – 1671）证认的，他用一台望远镜发现大熊座 ζ 实际上是两颗星。但直到 1767 年才由约翰·米切尔（John Michell）指出，这两颗在天空挨得很近的星确实在

空间有物理上的联系，而不是距离相差很远的两颗星偶然在视线方向并列。

有些双星中只能看见一颗星，但从可见星的运动情况可以推知伴星的存在。密近双星系统的两颗子星不能分解，但波谱学研究能显示两子星相互绕转时引起的星光变化。密近双星两子星常常在潮汐力作用下变形。如果潮汐力从一颗子星拉出物质并输送到另一子星上，就称它是半接双星；如果两子星相互接触，就是相接双星。如果半接双星的伴星是一颗致密的中子星或黑洞，从较大子星来的物质降落到伴星上时释放出的能量可以产生大量 X 射线或其他高能辐射。见共生星。

binary system 双星系统，见双星。

Birr Castle 比尔城堡，罗斯伯爵 1845 年建造的 72 英寸（183 厘米）反射望远镜所在地，位于爱尔兰中部。这台望远镜多年间曾是世界上威力最大的，罗斯曾用它揭示许多星云的旋涡结构。

black body radiation 黑体辐射，能吸收全部人射电磁辐射的物体是理想黑体。黑体辐射就是这样一个假想物体被加热时应该产生的辐射。

地球上最接近真正黑体的等价物，是带一个小孔的大容器，并使辐射通过小孔照射容器内部。当容器壁被加热时，从小孔出来的辐射就是黑体辐射。

黑体辐射的性质决定于黑体的温度，温度较高时，较高频率辐射所含的能量也较多。这就是为什么温的铁块发射看不见的红外辐射，稍热的铁块发红光，更热的铁块发白光，等等。

虽然黑体是一个理想化的概念，但很多天体的辐射能够近似地用等价黑体辐射来描述。例如，太阳辐射相当像温度为 6,000K 左右的黑体辐射。最大的黑体是宇宙本身，它充满了大爆炸遗留下来的理想黑体辐射，现在已经冷却到 2.7K 的温度，可在微波射电频段探测到。见背景辐射。

black dwarf 黑矮星，不再辐射任何光的冷的死亡了的恒星。见白矮星。

black hole 黑洞，一团物质，如果其引力场强大到足以使时空完全弯曲而围绕它自身，因而任何东西，甚至光，都无法逃逸，就叫做黑洞。不太多的物质被压缩到极高密度（例如将地球压缩到一粒豌豆大小），或者，极大的一团较低密度物质（例如几百万倍于太阳的质量分布在直径与太阳系直径一样的球中，大致具有水的密度），都能出现这种情形。

第一位提出可能存在引力强大到光线不能逃离的‘黑星’的人是皇家学会特别会员约翰·米切尔，

他于1783年向皇家学会陈述了这一见解。米切尔的计算依据是牛顿引力理论和光的微粒理论，前者是当时最好的引力理论，后者则把光设想为有如小型炮弹的微小粒子（现在叫做光子）流。米切尔假定，这些光粒子应该像任何其他物体一样受到引力的影响。由于奥利·罗默（Ole Rømer）早在100多年前就精确测定了光速，所以米切尔得以计算一个具有太阳密度的天体必须多大，才能使逃逸速度大于光速。

如果这样的天体存在，光就不能逃离它们，所以它们应该是黑的。太阳表面的逃逸速度只有光速的0.2%，但如果设想一系列越来越大但密度与太阳相同的天体，则逃逸速度迅速增高。米切尔指出，直径为太阳直径500倍的这样一个天体（与太阳系的大小相近），其逃逸速度应该超过光速。

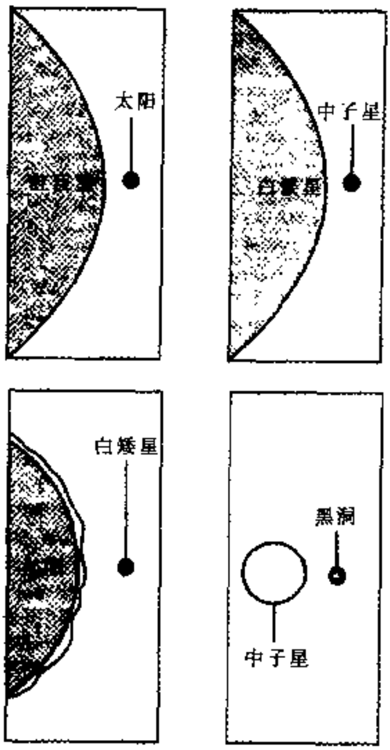
皮埃尔·拉普拉斯（Pierre Laplace）独立得出并于1796年发表了同样的结论。米切尔在一次特具先见之明的评论中指出，虽然这样的天体是看不见的，但'如果碰巧任何其他发光天体围绕它们运行，我们也许仍有可能根据这些绕行天体的运动情况推断中央天体的存在'。换言之，米切尔认为，如果黑洞存在于双星中，那将最容易被发现。但这一有关黑星的见解在19世纪被遗忘了，直到天文学家认识到黑洞可经由另一途径产生，在研讨阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论时才重新提起。

第一次世界大战时在东部战线服役的天文学家卡尔·史瓦西（Karl Schwarzschild）是最先对爱因斯坦理论结论进行分析的人之一。广义相对论将引力解释为时空在物质近旁弯曲的结果。史瓦西计算了球形物体周围时空几何特性的严格数学模型，将他的计算寄给爱因斯坦，后者于1916年初把它们提交给普鲁士科学院。这些计算表明，对'任何'质量都存在一个临界半径，现在称为史瓦西半径，它对应时空一种极端的变形，使得如果质量被挤压到临界半径以内，空间将弯曲到围绕该物体并将它与宇宙其余部分隔断开来。它实际上成为了一个自行其是的独立的宇宙，任何东西（光也在内）都无法逃离它。

对于太阳，史瓦西半径是2.9公里；对于地球，它等于0.88厘米。这并不意味太阳或地球中心有一个大小合适现在称为黑洞（这个名词是1967年才首次由约翰·惠勒用于这一含义）的东西存在。在离天体中心的这一距离上，时空没有任何反常。史瓦西计算表明的是，如果太阳被挤压进半径2.9公里的球内，或者，如果地球被挤压进半径仅0.88厘米的球内，它们就将永远在一个黑洞内而与外部宇宙隔

离。物质仍然可以掉进这样一个黑洞，但没有东西能够逃出来。

这些结论被看成纯粹数学珍藏品达数十年之久，因为没有人认为真正的、实在的物体能够坍缩到形成黑洞所要求的极端密度。1920年代开始了解了白矮星，但即使白矮星也拥有与太阳大致相同的质量



黑洞。恒星和黑洞的相对大小。
左上：太阳与红巨型的比较；
左下：白矮星与太阳的比较；
右上：中子星与白矮星的比较；
右下：黑洞与中子星的比较。

而大小却与地球差不多，其半径远远大于3公里。人们也未能及时领悟到，如果有大量的一般密度物质，也可以造出一个本质上与米切尔和拉普拉斯所想像的相同的黑洞。与任意质量M对应的史瓦西半径由公式$2GM/c^2$给出，其中G是引力常数，c是光速。

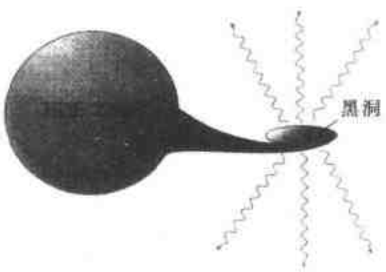
1930年代，萨布拉曼扬·昌德拉塞卡（Subrahmanyan Chandrasekhar）证明，即使一颗白矮星，也仅当其质量小于1.4倍太阳质量时才是稳定的，任何死亡的星如果比这更重，必将进一步坍缩。有些研究家想到了这也许会导致形成中子星的可能性，中子星的典型半径仅约白矮星的1/700，也就几公里大小。但这个思想一直要等到1960年代中期发现脉冲星，证明中子星确实存在之后，才被广泛接受。

这重新燃起了对黑洞理论的兴趣，因为中子星差不多就要变成黑洞了。虽然很难想像将太阳压缩到半径2.9公里以内，但现在已经知道存在质量与太阳相当、半径小于10公里的中子星，从中子星到黑洞也就一步之遥了。

理论研究表明，一个黑洞的行为仅由其三个特性所规定——它的质量、它的电荷和它的自转（角动量）。无电荷、无自转的黑洞用爱因斯坦方程式的史瓦西解描述；有电荷、无自转的黑洞用赖斯纳－诺

德斯特罗姆解描述；无电荷、有自转的黑洞用克尔解描述；有电荷、有自转的黑洞用克尔－纽曼解描述。黑洞没有其他特性，这已由'黑洞没有毛发'这句名言所概括。现实的黑洞大概应该是自转而无电荷，所以克尔解最令人感兴趣。

现在都认为，黑洞和中子星都是在大质量恒星发生超新星爆发时的临死挣扎中产生的。计算表明，任何质量大致小于3倍太阳质量（奥本海默－弗尔科夫极限）的致密超新星遗迹可以形成稳定的中子星，但任何质量大于这一极限的致密超新星遗迹将坍缩为黑洞，其内容物将被压进黑洞中心的奇点，这正好是宇宙由之诞生的大爆炸奇点的镜像反转。如果这样一个天体碰巧在绕一颗普通恒星的轨道上，它



典型的X射线双星系统HDE 226868由一颗较大的恒星和一个绕它运动的黑洞组成。黑洞通过引力剥夺并吞食恒星的物质。物质在流向黑洞时形成一个热的旋转盘，X射线就是从盘中发射出来的。

将剥夺伴星的物质，形成一个由向黑洞汇集的热物质构成的吸积盘。吸积盘中的温度可以升至极高，以致它能辐射X射线，而使黑洞可被探测到。

1970年代初，米切尔的预言有了反响：在一个双星系统中发现了这样一种天体。一个叫做天鹅座X－1的X射线源被证认为恒星HDE 226868。这个系统的轨道动力学特性表明，该源的X射线来自围绕可见星轨道上一个比地球小的天体，但源的质量却大于奥本海默－弗尔科夫极限。这只可能是一个黑洞。此后，用同一方法又证认了其他少数几个黑洞。而1994年天鹅座V404这个系统成为迄今最佳黑洞'候选体'，这是一个质量为太阳质量70%的恒星围绕大约12倍太阳质量的X射线源运动的系统。但是，这些已被认可的黑洞证认大概不过是冰山之尖而已。

这种'恒星质量'黑洞，正如米切尔领悟的，只有当它们在双星系统中时才能被探测到。一个孤立的黑洞无愧于它的名称——它是黑暗的、不可探测的（但请参阅引力透镜）。然而，根据天体物理学理论，很多恒星应该以中子星或黑洞作为其生命的结束。观测者在双星系统中实际上探测到的合适黑洞候选者差不多与他们发现的脉冲双星一样多，这表示孤立的恒星质量黑

洞数目应该与孤立的脉冲星数目相同，这一推测得到了理论计算的支持。

我们银河系中现在已知大约500个活动的脉冲星。但理论表明，一个脉冲星作为射电源的活动期是很短的，它很快衰竭成无法探测的宁静状态。所以，相应地我们周围应该存在更多的‘死’脉冲星(宁静中子星)。我们的银河系含有1,000亿颗明亮的恒星，而且已经存在了数十亿年之久。最佳的估计是，我们银河系今天含有4亿个死脉冲星，而恒星质量黑洞数量的甚至保守估计也达到这一数字的1/4——1亿个。如果真有这么多黑洞，而黑洞又无规则地散布在银河系中的话，则最近的一个黑洞也许离我们仅仅15光年。既然我们银河系没有什么独特之处，那么宇宙中每个其他的星系也应该含有同样多的黑洞。

星系也可能含有某种很像米切尔和拉普拉斯最初设想的‘黑星’的天体。这样的天体现在称为‘特大质量黑洞’，被认为存在于活动星系和类星体的中心，它们提供的引力能可以解释这些天体的巨大能量来源。一个大小如太阳系、质量数百万倍于太阳的黑洞，可以从周围每年吞食掉一到两颗恒星的物质。在这个过程中，很大一部分恒星质量将遵照爱因斯坦公式 $E = mc^2$ 转变成能量。宁静的超大质量黑洞可能存在于包括我们银河系在内的所有星系的中心。

1994年，利用哈勃空间望远镜，在离我们银河系1,500万秒差距的星系M87中，发现了一个大小约15万秒差距的热物质盘，在绕该星系中心区运动，速率达到约2百万公里每小时（约 5×10^7 厘米/秒，几乎是光速的0.2%）。从M87的中心‘引擎’射出一条长度超过1千秒差距的热气体喷流。M87中心吸积盘中的轨道速率决定性地证明，它是在一个拥有30亿倍太阳质量的超大质量黑洞引力控制之下，喷流则可解释为从吸积系统的一个极区涌出来的能量。

也是在1994年，牛津大学和基尔大学的天文学家，在称为天鹅座V404的双星系统中证认了一个恒星质量黑洞。我们已经指出，该系统的轨道参数使他们得以给黑洞准确‘量体重’，得出黑洞质量约为太阳的12倍，而围绕它运动的普通恒星仅有太阳质量的70%左右。这是迄今对‘黑星’质量的最精确测量，因而也是关于黑洞存在的最佳的、独特的证明。

有人推测，大爆炸中可能已经产生了大量的微黑洞或原始黑洞，它们提供了宇宙质量的相当大部分。这种微黑洞的典型大小同一个原子相当，质量大概是1亿吨

(10^{11}千克)。没有证据表示这种天体确实存在，但也很难证明它们不存在。

另见时间旅行、虫洞、霍金辐射。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；基普·桑尼著《黑洞和时间翘曲》[19]。

black-widow pulsar　黑寡妇①**脉冲星**，脉冲星发出的强大辐射束（像救火水龙对准一堆沙那样）蚕食其伴星而使后者损失质量的脉冲双星。

blazar　布莱扎②，由蝎虎座BL型天体和类星体创造的新词，用来指一类高能可变星系。很多活动星系从它们的中心排出物质喷流；对于布莱扎，则我们很可能是正对着喷流看，也就是喷流正冲着我们而来。

Bliss, Nathanial　布里斯，纳撒尼尔(1700－64)，第四任皇家天文官，任期从1762年到去世。之前曾与詹姆斯·布拉德雷在格林尼治皇家天文台共事。

BL Lac objects　蝎虎座BL型天体，位于某些星系核心部位的奇特、明亮、致密的强大能源，大概与类星体有密切关系。

第一个证认为这类天体的是蝎虎座BL，它曾被当做一颗变'星'达几十年之久，但1968年发现它也是一个很强的射电噪声源。这就引起了对蝎虎座BL本身的兴趣，结果发现它根本不是恒星，由此导致发现了一小撮（现在已知约100个）类似天体。同类星体一样，蝎虎座BL型天体也处在星系的心脏部位，很可能与超大质量黑洞联系在一起。但它们的变化极大，可以在几星期内增亮100倍，然后再恢复到正常亮度。

与类星体不同的是，蝎虎座BL型天体的光谱是没有特征的，既无发射线，也无吸收线（见波谱学），因而很难测量它们的红移和距离。但有些蝎虎座BL型天体在宁静期变得足够暗，使得周围星系的光不致被中心强光淹没，因而能加以分析。对少数具备这种可能性的蝎虎座BL型天体，得出的距离与较低红移类星体的相近。

大多数蝎虎座BL型天体看来是在椭圆星系而不是盘状星系的中心。关于它们的变化和无特征光谱的一个可能解释是，它们的中央黑洞极其巨大（含有1亿倍于太阳的质量），以致能囫囵吞枣般吃下整个的恒星。

这将造成巨大的能量耀发——

---

① 黑寡妇是一种交尾后就吃掉雄性的有毒雌性黑蜘蛛，喻脉冲星蚕食其伴星。——译注

② 鉴于这类天体的辐射具有快速强烈的变化，有时称它们为迅变体。——译注

在被吞食恒星质量相当的能量 mc^2（见狭义相对论）中占很大部分。作为比较，我们指出，一颗恒星整个一生大概仅仅释放这一能量的千分之一。又由于恒星是整个儿吞下去，而不是被潮汐力撕碎后一点一点吞食，因而没有留下碎片，不会形成围绕黑洞并在中央天体光线外出时产生特定谱线的物质云。见活动星系。

blue sheet　蓝耀[①]，下降到非常致密天体上的辐射将从该天体引力场获取能量而经受极端的蓝移。有人认为，作为黑洞的假想对立物的白洞，将在这样生成的蓝耀辐射中被扼杀，而不能向外膨胀到宇宙中去。但更复杂的计算表明，可以找到绕过这一困难的途径。见虫洞。

blue shift　蓝移，红移的对立物。任何引起红移的过程反转，都可产生蓝移——如向我们接近的物体的多普勒效应；辐射在引力场中下降时获取能量；（原则上）还有坍缩宇宙中的空间收缩。

blue stragglers　蓝离散星，球状星团中常见的位于主序‘折向点’蓝边的恒星。见赫－罗图。

Bode, Johannes Elert　波得，约翰尼斯·埃勒特（1749－1826），德国数学家和天文学家，1786～1825 年任柏林天文台台长。使他最著名的是以他的姓氏命名的定则，尽管他并未发现这个定则而仅仅普及了约翰·提丢斯（Johann Titius，1729－96）的早期工作。见波得定则。

Bode's Law　波得定则，将行星到太阳的距离与一个简单数字序列联系起来的准确关系。就像科学中常见的，这个定则名称不合适——它最早是由约翰·提丢斯提到的，但约翰尼斯·波得在 1770 年代将其普及。

波得宣布的定则形式是，关键数字序列是 0、3、6、12、24，依此类推，从‘3’后面的数开始，每个数都是其前面数的两倍。然后，给每个数增加 4。如果地球（第三颗行星）到太阳的距离规定为 10 单位，则水星、金星、地球和火星的距离全都可用相应的数字 4、7、10、16 给出。但 28 为空缺，然后，又像定则‘预言’的，木星离太阳 52 单位，土星 100 单位。

1781 年发现的天王星，离太阳很接近 196 单位，被看成是波得定则准确性的一个证明。19 世纪初在火星和木星之间发现的小行星带，则对应那颗‘失踪的’行星。

虽然后来发现的海王星和冥王

① 新版《英汉天文学名词》未收入此词，天文学界尚无公认中译名，今按实际意义权译为‘蓝耀’，以区别于‘蓝移’。——译注

星的轨道与波得定则预言的不符，但这种简单手算规则也许适合任何行星系统中行星轨道间隔，以及类似木星及土星的卫星系统中卫星轨道间隔的可能性，近来再次引起人们的浓厚兴趣。

这些想法，因发现三颗环绕脉冲星 PSR B1257+12 做轨道运动的行星，而且探明这个系统与水星、金星和地球组成的内太阳系的性质几乎完全相同，而被大大抬高了。两者之间的类似是惊人的，使人觉得可能有一个自然定律保证行星总是在特定轨道上形成，并且拥有确定的大小。

PSR B1257+12 是一个快速自转的中子星，其质量略大于太阳，直径仅约 10 公里。它自转时，向周围发出射电噪声束，就像灯塔的光束。从地球上探测到的就是具有规则间隔的射电脉冲。脉冲星只可能是产生于很久以前的超新星爆发，当时恒星拥有的任何行星系统已被爆发毁灭了。所以，现在与脉冲星相连的行星应该是被脉冲星摧毁的伴星的碎片形成的。

三颗行星不能直接看到，但它们围绕脉冲星的运动引起脉冲周期改变的方式，提供了充足的信息，表明三颗行星的质量大致等于地球质量的 2.8 倍、3.4 倍和 1.5%。它们到脉冲星的距离分别相当于地球到太阳距离的 47%、36% 和 19%。

特拉维夫大学的策维·马泽 (Tsevi Mazeh) 和伊茨哈克·戈德曼 (Itzhak Goldman) 指出，这些距离之比 1:0.77:0.4 与地球、金星和水星到太阳的距离之比 1:0.72:0.39 极为接近。太阳系三颗内行星的质量是地球质量的 1 倍、82% 和 5.5%。对这两个系统，都是外面两颗行星的质量大致相同，里面的行星的质量小得多。

因此，波得定则也适用于脉冲星 PSR B1257+12 的行星。这似乎暗示有一个制约恒星周围形成行星的普适机理。既然这个机理适用于脉冲星和我们太阳这样性质悬殊的系统，那么很可能它也适用于所有恒星；在银河系的众星当中，类似我们太阳系的其他'太阳'系，应当不是绝无仅有，而是普通不过的事物了。

Bok, Bart 博克，巴特 (1909–83)，荷兰天体物理学家，曾工作于莱顿大学和格罗宁根大学，1929 年移居美国。他也在澳大利亚工作过。1947 年，博克发现太空中一种小的、暗的、圆形的物质云，显示在恒星或发光云的背景上。这些博克球状体被认为是正在形成过程中的类似太阳的恒星。

Bok globules 博克球状体，1947 年博克首先发现的太空暗物质云，被认为即将坍缩形成恒星。这种球状体的直径可能仅 0.04 秒差距（约

8,000天文单位），也可能再大10倍，含有约1/10到几十个太阳质量的气体尘埃物质。

bolometric luminosity 热光度，见光度。

Bondi, Sir Hermann 邦迪，赫尔曼爵士（1919－），奥地利出生的数学家和天文学家，与汤米·戈德（Tommy Gold）和弗雷德·霍伊尔同为稳恒态宇宙模型最初三位创始人。邦迪生于维也纳，但在剑桥大学学习数学。他作为‘敌国侨民’于1940年被短期拘禁，拘禁期间认识了戈德。1942年他为英国海军部研制雷达，因这项工作而认识了霍伊尔。邦迪于1947年成为英国公民，在英国和欧洲科学管理机构担任好几个职务，他也是伦敦国王学院的应用数学教授。他于1959年被选为皇家学会特别会员，1973年封为爵士，1983年成为剑桥大学邱吉尔学院院长。

BOREXINO 玻勒克辛诺［实验］，意大利亚平宁山区地面下的格兰·萨索实验室正在建造的拟用于研究太阳中微子的探测器。它的基本工作原理与神冈中微子探测实验相同，使用5吨盛在2米直径尼龙球内的纯有机液体，中微子在球内与液体原子中的电子碰撞时产生的闪光，用排列在球体四周的检测器记录。该装置浸泡在一个每边长11米、满装1百万升纯水的大罐中，整个设备重达1,000吨。玻勒克辛诺应该能够探测到发生在太阳中心涉及硼－8和铍－7的核聚变反应产生的中微子。见太阳中微子问题。

bosons 玻色子，在相互作用中不守恒的基本粒子，其行为遵守1920年代由萨蒂恩德拉·玻色（Satyendra Bose，1894－1974）和阿尔伯特·爱因斯坦发展的‘玻色－爱因斯坦统计法’的统计规则。典范的玻色子是光子，即光的粒子；每次点亮一盏灯，就产生大量的光子。

利用玻色－爱因斯坦统计法，将电磁辐射作为光子‘气体’来描述，无须再利用辐射的波动性，就能够预言黑体辐射的所有性质。这是量子世界波粒二象性之一例。波粒二象性认为，光子或电子等实体，既能用波也能用粒子来描述。玻色子是量子理论中负责传递力的粒子。比如，电磁力可以描述为两个带电粒子——如一个电子和一个质子——之间交换光子，好像两个足球运动员之间的传球。

按照量子物理学的说法，玻色子的关键特性是它的自旋。所有玻色子的自旋要么是零，要么是整数——1、2、3，等等。这有点像小孩玩的陀螺的旋转——但又不完全像陀螺旋转，因为一个像电子这种带半整数自旋的粒子必须‘旋转’两次才能回到它起始状态。

见费密子。

bottom-up model　由小而大模型，见星系形成、暗物质。

bounce　反冲，见振动宇宙。

Bradley, James　布拉德雷，詹姆斯(1693－1762)，英国天文学家，发现星光的光行差并用它测定光速。他测出的光速是 308,300 公里每秒，很接近现代数值 299,792 公里每秒。这一数值公布于 1729 年，它证实了奥利·罗默 1679 年公布用另一种方法所测光速的正确。布拉德雷 1742 年接替哈雷成为第三任皇家天文官。

Brahe, Tycho　布拉赫，第谷(1546－1601)，丹麦天文学家（有时只用名字第谷称呼他），他进行了恒星方位和行星运动的精确测量，为开普勒发现行星运动定律铺平了道路。他是望远镜前时代最伟大的观测天文学家。

第谷出身贵族家庭，1546 年 12 月 14 日诞生在当时由丹麦统治、现为瑞典南部领土的克努兹斯图普。他的叔父没有子女，在他一岁时简直就是把他偷走了，但他后来获准抚养这个孩子。他把第谷送到哥本哈根（1559 年）和莱比锡（1562～1565）学习哲学和法律，想把他培养成外交官。但第谷观察了 1560 年的一次日食，结果迷上了天文学。所以，他在莱比锡一边正式攻读法学，一边主动研究天文学。

1563 年第谷观察了木星合土星（两行星在天空靠在一起），并注意到合的发生时刻比星历表预言的早了一个月。他领悟到当时用的星历表不够精确，于是开始了长期系统的观测，想自己编制更精确的星历表。

第谷的养父于 1565 年去世，这使他得以自由地走他钟爱的职业之路。他曾在罗斯托克大学求学，1566 年毕业；期间，他因数学上的争论与人决斗，被削掉大半个鼻子，从此他总是带一个银质假鼻子。

在巴塞尔和奥格斯堡继续求学后，第谷因父亲生病而返回家乡。1572 年 11 月 11 日，他看到仙后座有一颗新的明亮恒星，便使用他自己造的仪器对这颗星进行了一系列观测，直到它 1574 年 3 月变暗到看不见为止。根据他发表的《新星》一书（不要同开普勒发表的同名书相混）中的描述，现在我们知道这是一颗超新星。

这本书使第谷出了名。由于他与农家女结婚而同他的贵族家庭闹翻了，他很高兴接受了到哥本哈根和德国讲课的建议。他曾考虑定居瑞士，但 1576 年丹麦国王腓特烈二世将汶岛赐予他作为新天文台台址，并许诺他一笔生活费。

随着第谷声望的提高，他的天

文台成了整个欧洲学者们造访的优秀天文中心。他意识到，与行星轨道交叉的狭长彗星轨道给发端于亚里士多德时代的'天球'观念提出了难题，但他未能看出其中全部含义，也从未达到哥白尼思想的高度。第谷没有接受太阳是太阳系中心的学说，却提出了太阳围绕地球运动而所有其他行星围绕太阳运动的折衷观点。

尽管第谷在21年期间取得很大成就，他的天文台却始终未能完善到令他满意。1597年，腓特烈二世的继任者取消了第谷的经费，收回了他对汶岛的'所有权'。他离开了丹麦，一度供职德国；1599年在鲁道夫二世皇帝邀请下定居布拉格，皇帝给予他一座进行天文观测的城堡和一笔生活津贴。

第谷的许多仪器从汶岛运到了布拉格。1600年，年轻的约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler）参加他的工作。他们合作的时间很短，因为第谷在1601年10月24日去世；开普勒接过接力棒，继承第谷的事业，完成了星历表的编制，并继续前进，凭自己的才智成了一位伟大的天文学家。

brown dwarf **褐矮星**，由太空气体云的引力坍缩而形成、但没有足够质量在其核心部位引发核聚变的恒星。这种情况仅当恒星质量小于太阳质量的8%才有可能。通过引力能转变为热，这样的恒星能微弱地发光1亿年左右（见开尔文-亥姆霍兹时标）。1994年前没有直接观测到褐矮星，但这种天体可以解释在我们银河系中观测到的引力透镜事件（见MACHO)。

Bruno, Giordano **布鲁诺，乔丹诺**（1548-1600)，意大利修道士，是哥白尼地球绕太阳运动学说的早期支持者。以信奉异端邪说罪在罗马被活活烧死在火刑柱上。

Burbidge, Geoffrey and Burbidge, (Eleanor) Margaret **伯比奇，杰弗利**（1925-）**和伯比奇，（爱丽诺·）玛格丽特**（1922-)，英国夫妻天体物理学家小组，大部分科学生涯是在美国度过的。他们最著名的工作是与弗雷德·霍伊尔和威利·福勒共同完成的解释元素如何在恒星内部加工出来的核合成研究（见B^2FH)。

玛格丽特·伯比奇出生在达文波特，求学于伦敦大学，1947年获博士学位。她担任伦敦大学天文台助理台长至1951年，然后移居美国，先后供职叶凯士天文台、加州理工学院和圣地亚哥大学。1972年被任命为英国格林尼治皇家天文台台长，是担任这一职务的第一位女性；但她没有像她的前任那样成为皇家天文官，因为那时这两个职务已经分开。她对英国天文学的官僚主义体制感到不自在，于1973

年辞职，仍回到圣地亚哥大学担任天文学教授；1979 年起兼任该校天体物理和空间科学中心主任。

杰弗利·伯比奇 1925 年 9 月 14 日生于契宾诺顿，1946 年毕业于布里斯托尔大学，随即入伦敦大学，1950 年完成博士学业。之后赴美国，先后在哈佛大学和芝加哥大学工作。1953 年回到英国，供职于剑桥的卡文迪什实验室；1955 年再次迁往美国的威尔逊山天文台和帕洛马山天文台，以后曾任职于加州理工学院、芝加哥大学，1962 年起在圣地亚哥加利福尼亚大学（先任副教授，1963～1978 年任物理学教授）。1978～1984 年，杰弗利·伯比奇担任亚利桑那州基特峰国家天文台台长。

1970 年代，两位伯比奇是英国剑桥的常客，他们经常在他们的朋友和同行弗雷德·霍伊尔主持的天文研究所度过夏日时光。

除了与霍伊尔和福勒共同研究核合成问题外，两位伯比奇还合作撰写了一本关于类星体的重要专著，于 1967 年出版。他们还涉足一些不落陈套的观念，包括认为某些证认为类星体的天体与星系有物理联系，因而不可能是位于用宇宙学原因解释其红移所导出的距离上（这一见解由哈尔顿·阿尔普严格论证和提倡）。1970 年杰弗利·伯比奇专心于一项证明了椭圆星系中明亮恒星仅占不到1/4质量的研究（见暗物质），是这方面最早的工作之一；1960 年代初玛格丽特·伯比奇涉足好几项确定类星体高红移的光谱研究，并一直继续研究星系和类星体的光谱。

Burnell, Jocelyn　伯内耳，乔丝琳，见贝尔－伯内耳，乔丝琳。

bursters　爆发体，发出X射线爆发的源，1973 年由使用荷兰天文卫星的天文学家最先发现。所有爆发体都在我们银河系内，比较靠近银心。爆发被认为是双星中的中子星表面的吸积触发瞬时核聚变而产生的。

butterfly diagram　蝴蝶图，用 11 年太阳活动周内观测到的太阳黑子画出的图。每个活动周开始时黑子离太阳赤道相当远，但在活动周较晚期比较靠近赤道。图的形状很像蝴蝶翅膀。

C

3C 273 3C 273，1963年证认的第一个类星体。3C 273的红移是0.158，对应距离约5亿秒差距，但它却是已知最近的类星体。3C 273也是天空中最亮的类星体（这并不奇怪，因为它离我们比较近）。类似恒星的中央天体是一个强射电源，它带有一个很长的、中止于第二个明亮射电源中的微弱喷流。

8C 1435 +63 8C 1435 +63，最遥远的已知星系，其红移为4.25。

caesium clock 铯钟，见原子钟。

Callisto 木卫四，伽利略发现的木星四个大卫星中最黯淡和最外边的一个。它的半径为2,400公里，密度不到水密度的两倍，表示它主要由冰构成。

Cameron, Alastair Graham Walter 卡梅隆，埃莱斯泰·格雷厄姆·瓦尔特（1925－），生于加拿大、主要在美国工作的天体物理学家，1963年成为美国公民。他于1950年代中期独立提出与B^2FH小组相似的恒星内部核合成的思想。

Canada-France-Hawaii Telescope 加拿大－法国－夏威夷望远镜，夏威夷莫纳克亚天文台众多设备中的一具反射望远镜，其主镜孔径为3.6米，可用于光学和红外观测。

cannibalism 吞食，一个星系吞并另一个星系的过程。吞食在我们银河系这类星系的形成和演化中起重要作用。我们银河系就是通过吞食较小星系而形成的。最大的星系是所谓的中心超巨型星系，又叫cD星系，它们位于星系团的中心，看来已经吞食了好几个较小的星系。

吞食也用来表述双星系统中一个子星吞食它的伴星的过程。

Cannon, Annie Jump 坎农，安妮·詹普（1863－1941），在用光谱学方法对恒星进行分类方面完成开创性工作的美国天文学家。

1863年12月11日坎农出生在特拉华州多佛市，是一位富有的造船师的女儿。曾求学于威尔斯利学院，1884年毕业。因患猩红热导致失聪在家呆了10年后，她重返威尔斯利学院担任物理系助教，同时攻读研究生课程。坎农于1895年赴拉德克利夫学院学习天文学，成为哈佛大学天文台台长爱德华·皮克林（Edward Pickering）的助手，1896年录用为该台助理。

此后坎农一直在哈佛，先是当计算员（当时没有电子计算机，皮克林在天文研究中雇佣知识女性从事繁重的计算工作），后来担任天

文照片库管理员，1938年75岁时被任命为威廉·克兰奇·邦德（William Cranch Bond）天文学家。她还是牛津大学授予荣誉理学博士的第一位妇女。

虽然坎农细致观测过变星，也从事过其他有益的天文工作，但她的不朽遗产则是直到今天仍在使用的恒星分类系统。1890年，皮克林和他的同事威廉敏娜·弗莱明（Williamina Fleming）建立了一个分类系统，将恒星按其光谱中氢吸收线强度区分为用字母A到Q代表的17个光谱型。20世纪初，坎农以恒星表面温度（因而也就是恒星的颜色）为依据，将这个系统改造为更加自然的分类。按照表面温度降低的顺序，她得到一个十级序列，用皮克林早期分类法中的字母O、B、A、F、G、K、M、R、N、S代表。

绝大多数恒星都能归入从O到M的某个类型。O、B和A型星是白色或蓝色星，F和G型星是黄色，K型星是橙色，其他类型是红色。太阳是一颗普通的黄色G型



安妮·詹普·坎农（1863－1941）。

星。此后，坎农的分类系统只有些微改变，主要是对光谱型做进一步的细致划分。为了便于记住这个序列，好几代天文系的大学生用了一个算不得'精巧合适'的顺口溜'啊，漂亮的姑娘，吻我吧①'。

坎农用这个系统分类恒星极其熟练，凭肉眼观看光谱照片她每分钟能够分类三颗星。在《亨利·德拉伯星表》（1918～1924年间分九卷发表）中，她分类了超过225,000颗亮于10星等的恒星，几乎包括了亮于9等的全部恒星。从1925年（当时她已经62岁）到年已73岁高龄的1936年，她补充分类了130,000颗更暗的恒星，作为该星表的补篇（即HDE）。后来，应好望角天文台的请求，她又分类了另外10,000颗暗星。

如此大量不辞劳苦得到的详细资料，证明几乎所有恒星都能在一个按亮度和颜色排定的连续序列中方便地加以分类；这是建立可靠的恒星演化理论的主要先决条件。坎农逝世于1941年4月13日。

另见赫－罗图。

carbohydrates 碳水化合物，以化学结构式 $C_x(H_2O)_y$ 为基础的含碳、氢和氧的化合物，是对生命极为重要的化学物质，包括糖、淀粉和纤维素。弗雷德·霍伊尔和昌德拉·威克拉马辛格宣布了一个有争议的看法，即星际物质云波谱中的某些特征可以解释为云中存在碳水化合物；如果他们的看法正确，则对生命起源有重要意义。不要与碳氢化合物相混。

carbon 碳，宇宙中原子物质的最普通类型之一——仅次于氢、氦和氧的第四位最丰富元素。碳的原子序数是6，最普通碳同位素的每个原子核含6个质子和6个中子。碳在提供主序大质量恒星能源的碳循环中扮演重要角色，也是对生命至关重要的元素之一（见CHON）。

carbon cycle（CNO cycle） 碳循环（CNO循环），热的大质量恒星、特别是光谱分类为O、B或A的恒星内部提供能源的核聚变反应过程。

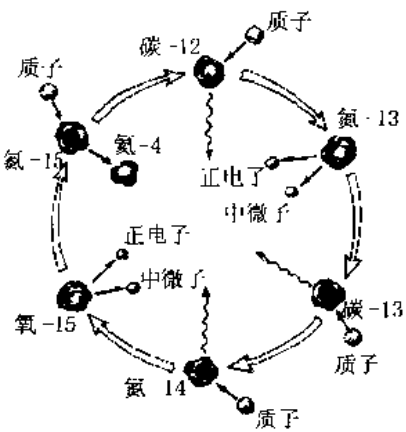
在这些恒星的中心，温度超过开氏2千万度，那里的大部分物质是氢核（质子）形态，但也有微量的其他原子核，包括碳原子核。碳氮氧循环的过程如下：

首先，一个质子通过隧道效应突入一个含6个质子和6个中子的核（碳－12核），形成一个不稳定的氮－13核。氮－13核发射一个正电子和一个中微子，变成一个碳－13核。如果现在有第二个质子从隧道进入这个核，它将变为氮－

① 原文是'Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me'。——译注

14，再加进第三个质子则将把它转变成氧－15。氧－15是不稳定的，它将吐出一个正电子和一个中微子而变成氮－15。但是，如果现在又有一个质子闯入这个核，它将抛出一个α粒子（两个质子和两个中子结合形成的氦－4核）。这样，剩下来的是与循环开始时的核完全一样的碳－12核。

最后结果是四个质子转变成了一个氦核、两个正电子和两个中微子。但一个氦核加上其他这些粒子的质量小于四个质子加在一起的质量，质量的差额已经按照爱因斯坦公式 $E=mc^2$ 转化成维持恒星内部温度的能量了。每产生一个氦核，四个质子的总质量中仅仅0.7%转化为能量。



碳循环。大质量恒星内部产生热量的核相互作用循环。

碳氮氧循环是汉斯·贝特于1938年提出的，也由卡尔·冯·魏扎克（1912－）独立发现。

另见质子－质子反应。

carbon stars 碳星，光谱学观测显示星体外层的碳比氧多的冷红巨星。这种恒星大气中的氧被禁锢在一氧化碳之中，多出的碳与氮和氢结合成其他化合物。碳星向空间泄漏物质，从而给星际物质添加碳、氧、氮以及由s过程产生的微量其他元素。

Cassegrain 卡塞格伦（约1650－1700），卡塞格伦望远镜所采用的镜面系统的发明人。关于卡塞格伦的情况所知甚少，连他的名字都不清楚，只知道他是路易十四宫廷中的天文学家、医生和雕刻家。

Cassegrain telescope 卡塞格伦望远镜，反射望远镜的一种，其中，由凹面主镜来的光向上反射到一个小凸面副镜，再向下返回通过主镜上的小孔达到焦点。这使得很容易接近望远镜的焦点，特别适用于大望远镜。这是继牛顿望远镜之后反射望远镜的第二个成功设计；尽管艾萨克·牛顿声称卡塞格伦受了詹姆斯·格雷果里（James Gregory）早期工作的影响，卡塞格伦仍于1672年发表了他的设计。但这一设计直到18世纪才付诸实践。（参见62页的图。）

Cassini, Giovanni Domennico 卡西尼，乔万尼·多明尼哥（1625－

1712)，意大利－法国天文学家，生于尼斯（当时属意大利），求学于热那亚，1650 年任波洛尼亚大学天文学教授。他测定了行星的自转周期（‘一天的长度’），计算了木星卫星运动的星历表。1675 年他发现土星光环中有一条间隙，至今仍称卡西尼环缝。

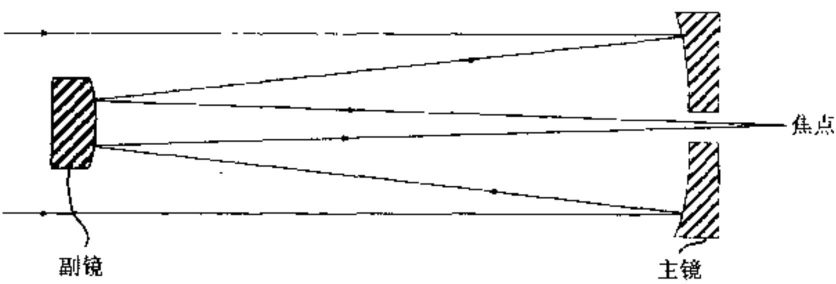
Cassiopeia A　仙后座 A，我们银河系中的一个强射电源，位于仙后星座方向，距离达 2,900 秒差距，被认为是 17 世纪时地球上的观测者应该看见过、但却没有被记录下来的一颗超新星的遗迹。

cataclysmic variable　激变变星，双星的一类，其中的白矮星在密近轨道上围绕伴星运动，伴星的物质被白矮星的引力拉出并经由吸积盘落到白矮星表面，造成能量的爆发，因而引起双星亮度无法预言的突然变化。

激变变星的经典类型是矮新星，已知有 200 多颗。但激变变星也指新星和再发新星，以及所谓的‘类新星天体’。类新星天体具有新星的各种性质，但从未观测到它们亮度的增加达到可以分类为新星的程度。

已知的激变变星有 600 颗左右，其中约 1/4 的轨道周期已经测定。除一颗外，所有激变变星的轨道周期都短于 15 小时，但它们全部长于 80 分钟，而 2～3 小时的周期极少。这类系统中，白矮星的典型质量约为太阳的 90%，明显大于其他白矮星的平均质量——太阳质量的 60% 左右；伴星质量为太阳的 10%～100%，但总是小于白矮星的质量。

在大多数情况下，激变变星的爆发越频繁，爆发的规模就越小。一颗新星可以增亮 10 星等以上，衰减下来却要几年，但几千年内也不会再次爆发。矮新星增亮只有几个星等，衰减时间大约一星期，但它可能每隔几星期或几个月重复爆



卡塞格伦望远镜示意图

发。

catalogues　天体表，列出已知天体和它们在天空上位置的表。天文学家需要天体表，既是为了便于找到打算观测的天体，也能了解哪些天体已经被研究过。第一个重要的非恒星天体表是夏尔·梅西叶（Charles Messier，1730－1817）编制的，他热衷于寻找新的彗星，想确信自己没有将类似蟹状星云那样的已知天体误认为彗星。1771 年他编出含 45 个天体的第一表，1780 年的第二表增加了 23 个天体，1781 年完成含 103 个天体的最后表（发表于 1784 年）。

梅西叶表中的有些天体是其他彗星搜寻者发现的，有几个天体还是别人给加进去的。天文学家仍在用这些天体在该表中的编号称呼它们，比如蟹状星云又名 M1，仙女座星系又名 M31。现在已知梅西叶表中的许多天体是星系。

星云星团新总表是公认为模范的一部天体表，它登录了许多星系，简称为 NGC，首次发表于 1888 年，后来扩充到含 13,000 个天体。同时收录在梅西叶表和 NGC 表中的天体便有了两个代号，如仙女座星系可记为 M31 或 NGC 224。

还有类似的射电源表，如'3C'表就是剑桥大学的射电天文学家编制的射电源第三表（'C'是剑桥的英文首字母——译注）。第一个证认出来的类星体就是该表中编号为 3C 273 的已知射电源。很多脉冲星和其他有趣天体现在用体现它们在天空的位置（赤经和赤纬）的数字来编表，于是第一个发现的脉冲星（在剑桥发现的，本可以沿用梅西叶的传统叫它 CP 1）现在称为 PSR 1919＋21。

CCD　CCD＝电荷耦合器件。

celestial equator　天赤道，由地球自转带动赤道上的人的头顶方向在天空移过的一个假想的圆。天赤道与黄道平面的交角约 23°26′。

Celsius, Anders　摄尔西乌斯，安德斯（1704－44），瑞典天文学家，其天文业绩并不突出，但提出了以两个固定温度为依据的温度标：水的沸点温度为 0 度，冰的熔点温度为 100 度。他死后不久，他的乌普萨拉大学同事开始反过来使用这个温度标（所以冰在 0°熔化，水在 100°沸腾）。这个温度标有时称为百分标度，但现今多称摄氏标度以避免同百分标度的角度单位混淆。摄氏温度标 1 度的大小与开氏温度标的 1 度相同。

Centaurus A　半人马座 A，半人马座中的一个强射电和 X 射线源，远在银河系边界之外，距离 500 万秒差距。这是最近的活动星系，在天空的张角达 9 度，等于月球角直径的 18 倍，相当于实际大小 40 万秒差距。

Centaurus X-3 **半人马座 X-3**，银河系内一个发射 X 射线的双星系统，位于半人马座方向。双星中的 X 射线源绕其伴星每 2.09 天运行一周，自身则以 4.8 秒的周期变化。轨道动力学研究显示，X 射线源本身是一颗自转的中子星，因而是一颗 X 射线脉冲星。

centre of mass **质心**，具有引力作用的物体系统中的'平衡'点。例如，双星中的两颗恒星各自绕它们的质心沿轨道运动，而双星之外很远处任何天体感受到的两颗星的联合引力作用，就像两星全部质量集中在质心时一样。

centrifugal force **离心力**，被迫沿曲线轨道运动的物体感受到的向外的力。它常被错误地看成一种'虚设'力，因为这种力只有被加速的物体才感觉得到，而在惯性系中，也就是对作匀速直线运动的物体，是不存在的。但是，阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论允许甚至非惯性系中的观察者把自己看成处于静止状态，而他们感受到的力是真实的。任何人如果说离心力是虚设力，说明他没有弄懂广义相对论。

离心力的经典例子是你乘汽车高速转弯时感受到的力。在这个力的影响下，你将被推向汽车外侧，放在汽车后端搁板上的网球也将朝着合适方向滚动。站在路旁的观察者将看见网球'真的'试图维持在一根直线上，而汽车却在转弯。对车外的人来说，这个力是虚设的，但对车内的任何人来说则不是。

一个在轨道上自由下落的物体（例如绕地球做轨道运动的卫星）不会感觉到离心力，因为它正好被向心力（对地球卫星而言是地球的引力）所平衡。这是等效原理的例子，它说明，引力和加速度的影响是不能彼此区分的。

曲线运动的离心力等效于像电梯、高速行驶的汽车和火箭等加速参考系中的观察者感受到的力。在两种情况下，力的存在都与相对于宇宙中物质平均分布的加速运动有密切关系（见马赫原理），但对这种关系如何起作用则无一致看法。

centripetal force **向心力**，将物体维持在一个封闭轨道上所需要的向内的力（通常为引力）。当你旋转一端绑着石头的绳子做圆运动时，向心力沿绳子发生作用，使石头不致突然沿切线飞走。另见离心力。

Cepheid variables **造父变星**，具有周期性变化、且周期与其平均亮度（绝对星等）有关的恒星。测量一颗造父变星的周期，能揭示它的绝对星等，所以再测量它的视星等就能得出这颗星有多远。这是确定宇宙距离尺度的关键基石。

造父变星的周期为 1～50 天。周光关系是 20 世纪初由亨丽爱塔·莉维特（Henrietta Leavitt）发现，

当时她在哈佛大学天文台由爱德华·皮克林指导工作。造父变星名称来源于1784年英国天文学家约翰·古德利克（John Goodricke）证认为变星的造父一。莉维特发现，造父变星越亮，它经历一个变化周期越慢，她在1908年发表了这一结果。然后，通过研究小麦哲伦云中的造父变星，她得以建立亮度和周期之间的准确关系，因为小麦哲伦云离我们十分遥远，其中所有恒星到我们的距离可以看成近似相同，就像纽约市的全体居民到伦敦特拉法加广场的距离近似相等一样。

这意味着，她能够说出我们自己的银河系中造父变星的相对距离，如某某星是另一颗星的两倍那么远，或是1/3那么远，等等，但她不知道它们的真正距离，因为任何造父变星的距离都没有测量过。最后，到了1913年，埃希纳·赫茨普隆（Ejnar Hertzprung）用一种视差方法测定了我们银河系中几颗比较近的造父变星的距离，距离尺度才得到标定。现在已经知道，有两个不同的造父变星族，它们的周光关系不一样；由此导致了1950年代初对宇宙距离尺度的修正（见瓦尔特·巴德）。

Cerenkov radiation　切伦科夫辐射，带电粒子以高于介质中光速的速度通过该介质时产生的电磁辐射，是声震现象在光学上的等价物。

Cerro Tololo Inter-American Observatory　托洛洛山美洲天文台，设在智利拉塞雷纳附近、由美国天文研究联合大学公司管理的一座天文台。该天文台海拔2,200米，主要设备是三台反射望远镜，孔径分别为4米、1.5米和1米。

C-field　创造场，创造场是弗雷德·霍伊尔作为他倡导的稳恒态宇宙模型的一部分而提出的。这一观念最早于1940年代提出，后又经霍伊尔及其同事，特别是加扬·纳里卡（Jayant Narlikar）做了深入研究。虽然稳恒态模型对宇宙的说明被广泛认为不成功，并且输给了大爆炸模型，但创造场却与当前流行的各种大爆炸理论版本视为发动了暴涨的那些过程有惊人的相似之处。把这些包含婴儿宇宙的暴涨模型看成大爆炸思想而非稳恒态思想的成果，基本上是一种历史偶然和语义上的说法；它们实际上是这两种对宇宙的表述的混合物。

按照霍伊尔的观点，创造场充满了宇宙，但在正创造着物质的区域中最强。创造场对整体宇宙的影响是引起膨胀以抵消新生粒子力图使宇宙收缩的倾向——结果是创造场的能量为负。创造场由它自己的类似光子的玻色子携带，玻色子掉进任何强引力区域时都将获得能量。霍伊尔说，这将‘打开创造龙

头'而产生大量新粒子。但在这一过程中，与创造场的增强相关联的外向压力将变得如此之强，以致引起向外的爆炸。

在这幅图像中，创造活动可发生在许多不同尺度上，包括在星系和类星体的中心，以及我们通常所说的大爆炸中。霍伊尔论点的关键是不允许形成黑洞或坍缩到奇点。在引力试图将物质压缩到这种极端状态的任何场合下，创造场将使过程反转为一股向外的新粒子流。但对于最极端的情况，这些粒子并非通常意义下的粒子，而是将巨大质能包含在一个不大于普朗克半径的区域中的普朗克粒子。现代版本的大爆炸理论把早期宇宙看作由这样一个普朗克粒子海洋爆发而成，所以霍伊尔理论中每一个粒子的创造本身就像是一个大爆炸。

膨胀宇宙的创造场版本和标准大爆炸版本的主要差别是，霍伊尔图像中的每件事发生得比较缓慢。我们所知道的宇宙从'大爆炸'比较缓慢地膨胀开来，然后坍缩到导致另一次大爆炸的大崩塌等等。但整个过程进行得如此之慢，以致银河系更像是已经3,000亿岁而不是标准大爆炸版本容许的150亿岁。

要调和霍伊尔描绘的整幅图像和对宇宙观测结果的公认解释是相当困难的。然而，对于我们观察到的宇宙所持有的观点——宇宙是更大时空区内许多泡中的一个，其早期膨胀由在普朗克时间存在过的极端压力、密度和引力条件决定的场所发动——则与暴涨有很多共同点。

补充读物：弗雷德·霍伊尔著《起风之处就是家》[20]。

chain reaction **链式反应**，见核裂变。

Chandrasekhar, Subrahmanyan **昌德拉塞卡，萨布拉曼扬**（1910－95），出生在印度的美国天体物理学家，以其对演化晚期的恒星，特别是白矮星的理论研究和关于黑洞的数学理论最为著名。

昌德拉塞卡1910年10月19日



萨布拉曼扬·昌德拉塞卡（1910－95）。

生于当时属印度、现为巴基斯坦领土的拉合尔。1930 年毕业于马德拉斯大学。由于正规物理课程太陈旧，昌德拉塞卡通过阅读大学图书馆学术杂志上尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）、魏纳·海森伯（Werner Heisenberg）和欧文·薛定谔（Erwin Schrödinger）的研究论文以及阿诺德·索末菲（Arnold Sommerfeld）的专著《原子结构和光谱线》，自修了量子理论的新物理学。他在念大学本科时就发表了两篇研究论文，凭着这项工作他获得赴英国学习的奖学金。

1930 年 7 月，在驶往英国的轮船上，昌德拉塞卡用他掌握的量子物理学知识进行了一些计算，证明白矮星仅当其质量小于 1.4 倍太阳质量时才是稳定的，任何恒星在演化结束时的质量若超过这一数值（现在叫做昌德拉塞卡极限），将无限制地坍缩下去。

昌德拉塞卡的结果没有得到他在剑桥的研究导师拉尔夫·福勒（Ralph Fowler）的特别重视，但这位年轻的印度研究生获准将它发表在 1931 年的《天体物理学报》上。他在 1933 年快满 23 岁时完成博士学业，被录取为剑桥三一学院的特别研究生。

质量大于昌德拉塞卡极限的老年恒星必然无止境坍缩（成为我们现在称之为黑洞的东西）这一断言，使昌德拉塞卡陷入了同 1930 年代英国天文学伟大老前辈亚瑟·爱丁顿爵士（Sir Arthur Eddington）的冲突之中。1935 年爱丁顿在英国皇家学会的一次会议上对这一思想加以嘲笑。部分由于这一冲突，昌德拉塞卡离开了剑桥转往芝加哥大学工作，他觉得'我没有必要老是这么战斗。我宣布我是对的，其他人全错了。我应该写一本书，我应该说明我的观点，然后我就离开这个课题。'

说话算话，昌德拉塞卡写出了他的书（《恒星结构研究导论》），他转而从事别的事情，从此形成了他一生的工作模式。他往往在一个特定研究领域工作数年时光，写一本有关该课题的大部头著作，然后转到一个新领域。这样，他研究了恒星动力学、恒星大气及其他课题，1960 年代做出关于广义相对论在天体物理学中应用的第一流研究，1970 和 1980 年代则是黑洞的数学理论。他充分地施展了他的才能；昌德拉塞卡因其成就获 1983 年诺贝尔奖，那是奖励他关于黑洞的最新研究和他对白矮星稳定性的首次重要研究的——当然，他在那次海上航行时所做的计算早就得到了进一步研究的支持。

虽然白矮星和黑洞之间有一个中间阶段（中子星），但昌德拉塞卡在 1930 年代是正确的，他当时

说，一颗质量超过某个确定数量的死亡恒星必定无限制地坍缩。

1936年后，昌德拉塞卡终其一生都在芝加哥大学和所属的叶凯士天文台工作，1953年成为美国公民。同年他担任《天体物理学报》主编，任职到1971年。尽管他在1930年代与爱丁顿有过对抗，他还是充满感情撰写了关于这位伟大天文学家的传记，称他是‘他那个时代最卓越的天体物理学家’。

昌德拉塞卡于1995年8月21日因心脏病发作逝世。

补充读物：萨布拉曼扬·昌德拉塞卡著《爱丁顿传》[21]；约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；基普·桑尼著《黑洞和时间翘曲》[19]。

Chandrasekhar limit　昌德拉塞卡极限，一颗白矮星在自身重量作用下不致坍缩为中子星或黑洞所能够拥有的最大可能质量。它几乎准确等于1.4倍太阳质量。另见昌德拉塞卡、奥本海默－弗尔科夫极限。

chaos　混沌，由简单严格定律实际支配的系统中发生的不可预见和不规则的行为方式。混沌是由这种系统对初始条件的极端敏感性引起的，这些条件的微小变化都将导致很不相同的结果。这是介于完全可预见行为和完全无规行为之间的中间状态。

举一个对初始条件极端敏感的例子。如果你试图将一支铅笔竖立在它的尖端上，铅笔总是会倒下；但是，即使它严格遵守引力定律，你也永远无法预言它将怎样倒下（只要你诚实无欺地试图完美地竖立它）。

气候系统常对初始条件极为敏感，这里有一个混沌的经典例子在起作用，就是所谓的蝴蝶效应。这个效应是说，巴西一只蝴蝶拍动翅膀可能改变非洲暴风雨系统的发展趋势。

混沌使得不可能在不知道开始时系统中每个物体所有性质的准确数值——如系统中每个物体的精确位置和速度——的情况下预言某些系统将如何发展。对于天气预报，这意味着要知道空气中每个分子的位置和速度，这实际上是不可能的（原则上也不可能，理由不单单是我们缺乏测量装置；见量子理论）。

如果误差引起系统行为变化不大，那它就是可以预言的。天气有时可以预报，有时却是混沌的，这就是天气预报成了艺术和科学的混合物的原因。

在天文学中，混沌对太阳系天体轨道的计算特别重要。它使预报一个天体——例如一颗受到诸如巨行星等其他天体引力影响的一颗彗星——的准确轨道成为不可能。你可以随心所欲计算越来越遥远未来的轨道，但随着计算的初始条件误差影响的累积，它们将偏离真正轨

道越来越远。

charge **电荷**，某些基本粒子相互之间产生电力的一种性质。电荷分为两类，被随意地称之为‘正的’和‘负的’。具有同类电荷的两个粒子（如两个电子）互相排斥，具有相反电荷的两个粒子（如一个电子和一个质子）互相吸引。后来，基本粒子的一些其他性质也被给予类似名称，如色荷。（见夸克。）

charge coupled device（CCD） **电荷耦合器件**（CCD），与照相底片相当的电子探测器件。CCD对电磁辐射敏感，其探测范围除可见光外，还延伸到波谱的红外、紫外以及低能X射线波段。

CCD比照相底片小，一般只有几平方厘米的面积，但它记录电磁辐射能量（光子）的效率比照相底片高得多。所以，将它装到望远镜上，可以在比用照相方法更短的时间内获得更多关于天体的信息。

CCD由类似硅的半导体平面薄晶片上极细微像素（图像元素）方阵构成。单个像素大小可能只有15微米（百万分之15米）或更小。方阵含有几千行和几千列像素，每个像素对入射光子的响应是产生并积累正比于它接收到的辐射量的电子数。单个像素以这种方式能够保存50万以上的电子。

每个像素上的电荷用电子设备‘读出’，转变成数字形式，送往计算机进行分析。经处理后的数字资料可用来绘制照片那样的图像，或显示在监视器屏幕上，或径直在计算机内加以分析。

这要求使用威力强大的计算机。现今常用CCD的方阵含1024×1024个像素和2048×2048个像素，4096×4096方阵的CCD也可能制造。即使是2048×2048的方阵，像素已超过400万，而每个像素含2字节的信息。所以，计算机在做任何数据处理之前，需要用8兆内存保存一幅用CCD获得的‘照片’。

CCD是1970年美国贝尔实验室发明的；多亏高速电子计算机的发展，它们已成为天文观测中使用最广泛的探测器。

Charon **冥王卫一**，冥王星的卫星，1978年由美国海军天文台的詹姆斯·克里斯蒂（James Christy）发现。冥王卫一在离冥王星19,400公里的轨道上每6.4天运行一周。它和冥王星一样，是由水冰和冻结的甲烷构成的。冥王卫一的直径约1,300公里，大于冥王星的一半。勿与半人马星（Chiron）相混。

Chiron **半人马星**，1977年查尔斯·科瓦尔（Charles Kowal）在土星和天王星轨道之间发现的一颗超彗星，或冰矮天体。半人马星绕太阳运行一周要50年，它的直径至少200公里。它可能是具有相似轨道

的冰状天体带中最大和最亮的成员之一。勿与冥王卫一（Charon）相混。

CHON CHON，对生物有机体最重要的四个元素碳－氢－氧－氮的英文首字母缩略词。

让紫外辐射或电火花通过盛有水（氢和氧的化合物）、二氧化碳和氨（氢和氮的化合物）的混合物的密封长颈瓶，这样的实验已经生成了更复杂的化合物氨基酸；氨基酸本身是组成蛋白质的砌块，因此只差一步就到了生物体的分子。这个简单的实验证明一个事实：长颈瓶中的四种元素在生物体结构中占统治地位。

每一个活着的人含有大约65%的水，但甚至另外1/3的身体也主要由与水的成分相同的元素氢和氧的原子，再加上碳和氮所组成。你身体的多达96%是由CHON构成的。氢来自大爆炸，宇宙中到处都是；碳、氮和氧跻身恒星内部核合成的最丰富产品之列绝非偶然。生命在其进化过程中利用了能够得到的材料，而生命形成的某些步骤可能是在含有与长颈瓶中相同成分、且不缺少紫外光的星际云中发生的。

见宇宙丰度、胚种广布假说。

Christie, Sir William Henry Mahoney 克里斯蒂，威廉·亨利·马霍尼爵士 (1845－1922)，英国天文学家，1881年成为第八任皇家天文官，1910年从该职位退休。他把格林尼治皇家天文台的工作扩大到传统方位测量以外的领域；为加强天文台的观测设备，他增加了一台孔径28英寸（71.1厘米）的反射望远镜和其他仪器；他倡议每天观测太阳黑子和恒星的光谱学研究。克里斯蒂把该天文台改造成了天体物理学中心以及守时和航海天文机构。

chromosphere 色球，见太阳。

Circinus X－1 圆规座X－1，位于圆规座的一个银河系内的X射线源，其距离未知。该X射线源绕一颗伴星每16.6天运行一周，可能是一颗中子星。

Clarke, Arthur C. 克拉克，亚瑟·C. (1917－)，见地球同步轨道。

classical mechanics 经典力学，本质上就是我们在中学学习的运动定律，其基础是艾萨克·牛顿的运动三定律——一个没有受到力的作用的物体将保持静止或匀速直线运动状态；物体速度的改变率（加速度）与它受到的力成正比，与它自己的质量成反比；一物体受到另一物体的作用力时必产生大小相等方向相反的反作用力。

牛顿的所有三个运动定律对以远比光速小的速率运动的物体都极其精确适用。当速率达到光速显著比例时，这些定律必须修正以考虑运动加快时物体质量的增大（见狭

义相对论)。牛顿力学经这样修正后称为相对论力学。

但是，甚至相对论力学也常常被当成经典理论，因为它处理的是连续的空间和时间。与经典力学有本质差别的是量子力学（见量子理论)。量子力学认为，一个系统的性质不能连续变化，而只能一点一点间断式变化，这一点一点的变化非常小，叫做量子。所以当我们处理的物体远大于原子时，就不必用量子理论。因此，经典力学的严格适用范围是世间一切比原子大得多但速度比光速慢得多的物体；在设计桥梁、估计棒球的飞行距离以及计算行星绕恒星的轨道等类工作中，经典力学是完美无缺的。

classical physics **经典物理[学]**，见经典力学。

Clifford, William Kingdon **克利福德，威廉·金顿**（1845－79)，英国数学家，是最先提出黎曼的非欧几里得几何学可能通过弯曲空间正确说明宇宙的人之一。他逝世那年正好阿尔伯特·爱因斯坦出生。见广义相对论。

closed universe **闭宇宙**，见宇宙模型。

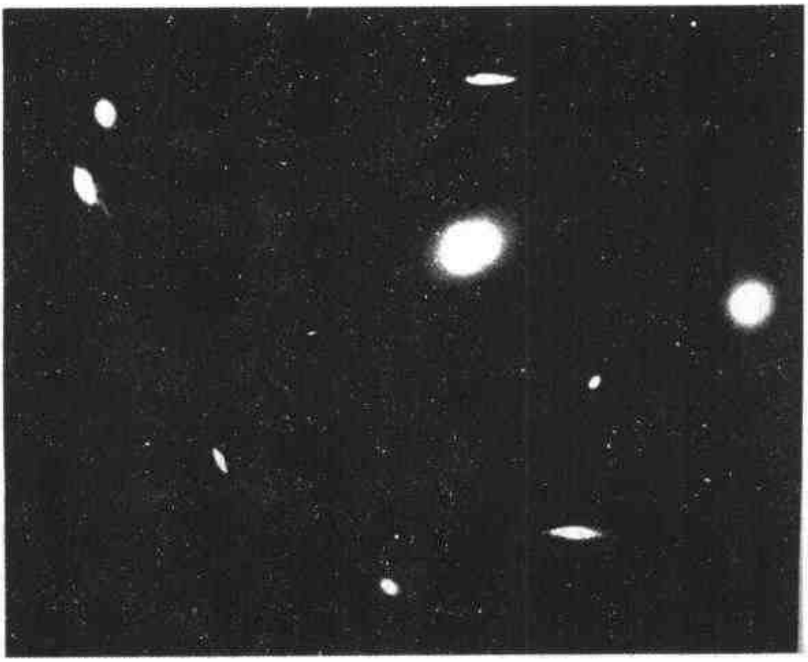
clusters of galaxies **星系团**，星系倾向于聚集在称为星系团的群体中。星系团可能包含数千个星系。我们的银河系是一个叫做本星系群的小星系团的成员，本星系群仅含大约40个成员，其中大部分是矮星系，但也包括巨型的仙女座星系。星系团由引力维系在一起。

离我们最近的大星系团是室女座星系团，这是一个包含至少2,500个星系的巨大集合，其中3/4是盘状星系。室女座星系团的准确距离仍有争议（见宇宙距离尺度)，但一个广为接受的数值是1,500万秒差距；如果这个距离能够准确测定，比如用哈勃空间望远镜研究其中的造父变星，那将给宇宙距离尺度提供重要定标。1994年公布了用哈勃望远镜进行这类测量的首批结果，得出了比较大的哈勃常数值约80公里每秒每百万秒差距，但这并不是最后结论。

室女座星系团中第二位最亮星系（M87）是该团最重要成员之一，它是一个巨型椭圆星系，而且观测表明它还同时是射电源（室女座A）和X射线源（室女座X－1)。

星系团本身又聚集成群而形成超星系团。本星系群和室女座星系团是同一个超星系团的一部分，这个超星系团有时称为本超星系团。虽然本星系群由于宇宙膨胀（见大爆炸）将空间拉伸而远离室女座星系团，但室女座星系团的引力强大到部分抵消了这个宇宙学膨胀，将测得的室女座星系团退行速度降低了大约250公里每秒。

这仍然意味着，我们正以大约



星系团。室女座星系团的一部分。该星系团总共至少包含 2,000 个星系，散布在广达 300 万秒差距的空间，距离我们约 1,500 万秒差距。

1,000 公里每秒的速率远离室女座星系团，然而令人不解的是，天文学家常常把退行速度减少的这个量说成我们'落到'室女座星系团中去。

星系团和超星系团在宇宙中的分布，是存在暗物质的重要证据。

clusters of stars **星团**，相互有物理联系（而不是距离不同但偶然在太空上位置接近）的恒星组成的群体。见球状星团、疏散星团。

CNO cycle **碳氮氧循环**，见碳循环。

COBE **科比［卫星］**，美国宇航局在 1989 年发射的卫星，该卫星发现了宇宙微波背景辐射中的涟漪，证实了大爆炸宇宙模型的正确性。见背景辐射。

cold dark matter（CDM） **冷暗物质（CDM）**，由运动比光速慢的粒子构成、可能占宇宙引力质量多达 99% 的一种假想的非重子暗物质。又叫做弱相互作用大质量粒子（英

文首字母缩略词为 WIMP)。另见混合暗物质。

collapsar **坍缩星**,恒星达到演化终点可能形成的三类‘坍缩恒星’——白矮星、中子星和黑洞——的通称。有时只用来特指黑洞。

colour **颜色**,恒星的颜色同它的表面温度有关(见黑体辐射),是恒星内在性质的重要标示物。波长较短的光对应较高的温度。最冷的恒星主要发红光;温度增高时,颜色转为橙、黄、白和蓝。

但天文学家测量恒星的温度不是在一个波长,而是至少在两个波长;并且将这些测量进行比较以决定恒星的温度(见色指数)。

基于这种方法的第一个标准颜色系统是爱德华·皮克林在 1890 年代建立的,它用的是对蓝光和黄光的测量。1950 年代,这一系统基本上被一个更好的系统取代,后者采用的是对光谱紫外区(360 纳米)、蓝区(420 纳米)和目视区(540 纳米)三个波段的测量。这个 UBV 系统能够提供更丰富的信息,因为通过 UB 和 BV 两个色指数的比较,可以知道星光在来到我们的途中被太空尘粒吸收了多少(星际红化),也能区分矮星和巨星,以及提供关于恒星化学组成的信息。

colour index **色指数**,恒星或星系的亮度通常在不同波长处测量,这对应着光的不同颜色:比如蓝色和红色。测得的两个亮度之差就是色指数,是与恒星的温度有关的。

colour-magnitude diagram **颜色-星等图**,见赫-罗图。

Coma cluster **后发座星系团**,离我们银河系约 1 亿秒差距的很大一群星系。该星系团至少含 1,000 个亮星系,通过相互间的引力维系在一起,像蜂群一样在空间整体运动。由于宇宙的膨胀,后发座星系团正以大约 6,700 公里每秒的速率退离我们(见红移)。

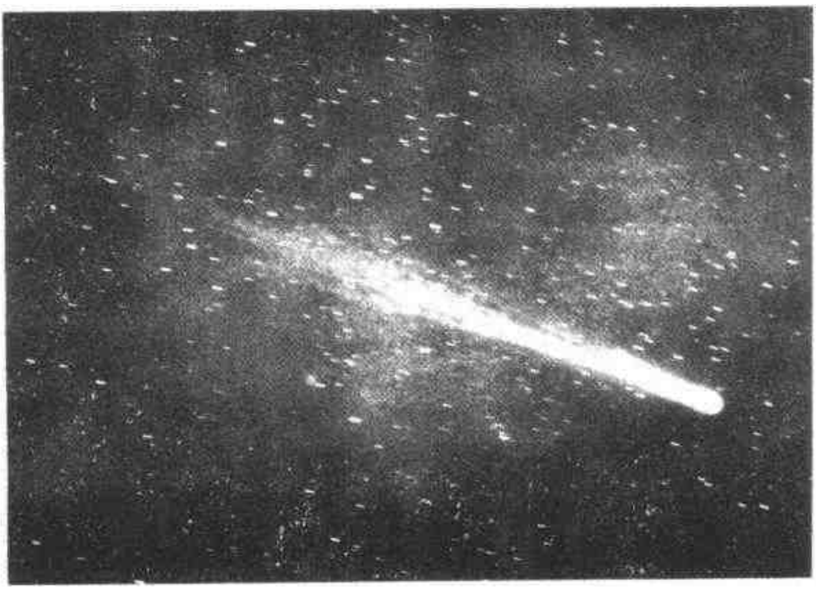
comet **彗星**,太阳系中小天体之一类。彗星是一团冰冻物质和尘埃(也许好几团物质一起运动),当它靠近太阳时成为可见。太阳的热使彗星物质蒸发,在冰核周围形成朦胧的彗发和一条稀薄物质流构成的彗尾。由于太阳风的压力,彗尾总是指向背离太阳的方向。这就是彗星之名的由来,因为希腊语的彗星意为‘长发星’。‘脏雪球’模型是 1949 年弗雷德·惠普尔(Fred Whipple)提出的,已经得到实地造访彗星的无人空间探测器所证实。

彗星被认为起源于太阳系诸行星的轨道之外、大致在到最近恒星距离中点处(离太阳几万个天文单位)的一个球壳或晕之中。彗星可能从太阳系形成以来就已经贮存在这个奥尔特云中了;与之对立的理论则认为,当太阳系穿过巨分子云时,将逮住的‘新’彗星补充到奥

尔特云中去。奥尔特云可能含有数千亿颗彗星。不时路过的恒星通过引力干扰奥尔特云，将彗星推向太阳，而那里木星和其他巨行星的引力影响则可能将它们捕获到周期较短的轨道上。

有一个由彗星和其他宇宙碎片构成的中间环带，叫做柯伊伯带的，位于冥王星和海王星轨道之外、离太阳约 35 到 1,000 天文单位。柯伊伯带大概含彗星 1 亿颗，其中一些可能是从奥尔特云来的。不管起源如何，带中的彗星终将能够进入太阳系的行星领地。半人马星也许就是不久前被从柯伊伯带中抓过来放到现在轨道上的，但长周期彗星则被认为是从奥尔特云直接掉进来的。

典型彗星的固体核是很小的——如哈雷彗星核大约是 15 公里长，10 公里宽，10 公里高——但环绕它的彗发却可能宽阔达到几十万公里，而彗尾则可延伸上亿公里。彗发和彗尾的物质全来自核的蒸发，所以彗星每接近太阳一次，核就变小一些，最后将消失，剩下的只是一群沿轨道运动的尘埃微粒，它们在与地球相遇时引发流星



彗星。1907 年 8 月 6 日拍摄的丹尼尔彗星，显示了当彗星接近太阳时产生的独特延伸彗尾。

雨。

彗星被随意分为两类——长周期的和短周期的。短周期彗星沿轨道走一圈的时间短于 200 年，它们基本上都在海王星轨道以内；长周期彗星沿轨道走一圈的时间长于 200 年（有些需要几百万年），它们可以远远超出行星轨道之外。已知短周期彗星大约有 150 颗，每年还有新的发现。哈雷彗星是这些定期拜访太阳系内区的客人中最亮的一个，周期是 76 年；恩克彗星的周期最短，只有 3.3 年。

compact galaxy　致密星系，此名称由弗里茨·兹威基所创造、用来代表一类具有很亮的核因而看起来像恒星的星系，但已过时不用。现在知道它们是星暴星系或其他类型的活动星系。勿与矮星系相混。

compactification　紧致化。见卡鲁扎-克莱因模型。

Compton Gamma Ray Observatory 康普顿 γ 射线天文台，1991 年美国宇航局发射的一颗在电磁辐射波谱的 γ 射线波段研究宇宙的卫星，以开创了X 射线实验的物理学家亚瑟·康普顿（Arthur Compton，1892－1962）命名。该卫星重达 16 吨，观测能段为 15 KeV－30GeV。

conjunction　合，太阳系中两个天体的赤经[①]（经度）从地球看来相等时的一种排列。从地球上看，行星或其他天体位于太阳和地球之间谓之下合，行星或其他天体位于太阳后面谓之上合。当一个行星与另一个行星或其他非太阳天体在天空紧密靠在一起时，称为行星合。见冲。

constellations　星座，起初，星座是相当任意的恒星分组，边界含糊，在天上的排列形状可想像成神话英雄或怪兽。今天我们用的天空划分系统是基于希腊天文学，但根源则已古老失传。其他古代文明（如中国人）各有其自己的系统。这些图案没有任何天体物理含义，一个星座中的恒星在视线方向离我们的距离可能相差极大——例如，半人马座中两颗指向南十字座的‘指示星’看起来在天上并肩而立，但半人马座 α 到我们的距离刚刚超过 1 秒差距，而半人马座 β 却远在 100 秒差距以外。

托勒密（Ptolemy）列出 48 个星座（它们当然全都是在北半球看到的），16、17 和 18 世纪，特别是探险家开始进人南半球后又增加了很多。1933 年国际天文学联合会（IAU）将这个系统规范化，把整个

① 严格地说，不是‘赤经’而是‘黄经’相等，尽管太阳系的大多数天体的赤经和黄经一般相差不很大。——译注

天空分成 88 个区域，赋予它们历史上沿用的拉丁星座名。天空中任何一个天体必定出现在 IAU 定义的 88 个星座的某一个的范围内（有些延伸天体跨越星座的边界线），而任何恒星、星系或其他天体的大致位置，也可以用它‘所在’的星座来表示。

这样规范化之后，星座的大小仍然相差悬殊，从小马座（托勒密最初 48 个星座之一）的 72 平方度到长蛇座（也是托勒密的 48 个星座之一）的 1,303 平方度。这个系统远非完美，但天文学家习惯了，并不感到什么不方便。

contact binary **相接双星**，见等势面。

continuous creation **连续创造论**，见稳恒态假说。

convection **对流**，流体（液体或气体）介质中的热量通过流体内部的混合运动而向上迁移——就是常说的‘热空气上升’。一个比环境更热的气泡向上升，把自己的热量给予它上面较冷的层，然后在引力作用下再次下沉。对流在恒星内部的某些层中起重要作用。

Copernican system **哥白尼体系**，尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus）在 16 世纪提出的太阳系的日心模型，发表在他的《天体运行论》一书中。这个体系仍然沿用托勒密体系的圆轨道和本轮的概念，但把地球看成绕太阳运行的众行星之一。

Copernicus, Nicolaus(Mikolaj Kopernigk) **哥白尼，尼古拉**（1473 – 1543），提出是太阳而非地球位于太阳系中心的思想的波兰天文学家（和医生）。

哥白尼 1473 年 2 月 19 日出生在当时由波兰统治的普鲁士托伦城。他的父亲，一位富有的商人，在 1483 年去世，米科拉（哥白尼本名，以后改成拉丁名尼古拉）由后来成了埃尔梅兰城大主教的舅父抚养。1491 到 1494 年他在克拉科夫大学学习数学和古典语言，然后前往意大利，在波洛尼亚大学学习天文。虽然他身不在波兰，但他舅父的权势仍使他在 1497 年被选为弗龙堡大教堂的任职教士，即使这样他也从未担任圣职。这份挂名差事的薪水却使哥白尼能够随心所欲地钻研他兴趣所在的天文学。



尼古拉·哥白尼（1473 – 1543）。

但他不是庸才。1501 到 1505 年他在帕多瓦大学学习了医学，并于 1503 年获费拉拉大学教会法博士。1506 年他返回波兰，担任他舅父的医生和私人秘书，在教堂履行他的教士职责，并数次被委派执行外交使命。他对天文学的兴趣远远没有成为压倒一切的激情，他只做了很少的观测，他更喜欢利用别人长期积累的资料计算行星的运动。然而，在 1510 年代初，他领悟到托勒密的地心宇宙观不能令人满意，他确信太阳在宇宙的中心，地球和其他行星都在围绕太阳的轨道上运行。

哥白尼深知这种主张的革命性和被当成异端邪说的可能。虽然他在 1512 或 1513 年就写下了他的思想的要点，并在 1530 年完成了比较详细的版本，但他不敢冒险发表，他只在他信任的朋友间私下传播他的著作。有一位名叫乔尔格·雅基姆·冯·劳肯（Georg Joachim von Lauchen）［又名雷迪卡斯（Rheticus)］的朋友最终说服哥白尼着手写一本全面论述他的思想的书，这就是《天体运行论》。

哥白尼的书大概在 1530 年已经基本完成，虽然作者不愿意发表，有关它的内容的消息却广为传播（甚至罗马教皇利奥十世和克里门七世都并非恶意地提到过它），但哥白尼仍迟迟不愿发表，直到被雷迪卡斯的执著精神所感动。这时已经到了 1540 年代初，哥白尼已经年迈体弱，疾病缠身。雷迪卡斯承担了复写手稿，送往纽伦堡和监督印刷的全部任务。但在工作完成之前，他不得不离开前往莱比锡就任一个新职务。

出于某种不难理解的考虑，哥白尼将他的书献给教皇保罗三世；书中还有一篇别人未经哥白尼授权写的前言，说日心宇宙观念只是一个假设，并非真的宣称宇宙就是那个样子。这是在雷迪卡斯去莱比锡后接替监督《天体运行论》出版事宜的路德教派教士安德里斯·奥塞安德尔（Andreas Osiander）匿名加上去的。《天体运行论》于 1543 年 5 月问世，哥白尼就在看到他的书的 5 月 24 日那天停止了呼吸。

日心宇宙观一开始既未被看成对托勒密观念明白无误的修正，也没有受到教会的强烈反对（也许是因为还没有被广泛接受）。哥白尼模型的要害问题是它仍然采用圆轨道，仍然要求借助麻烦的大量本轮，所以乍看起来它并不显得比旧模型简单多少。对很多人来说，地球在空间飞驰简直无法接受。

但随着《天体运行论》的赢得支持，它日益被当成了威胁，1616 年被列入天主教会禁书目录。一直要到 1835 年，教会才勉强接受地球也许绕太阳运动的可能性。早在

这之前，哥白尼的著作已经通过对第谷·布拉赫、约翰尼斯·开普勒、伽利略·伽利雷和艾萨克·牛顿等人的影响，完成了天文学的一次革命。

Coriolis force **科里奥利力**，由于地球自西向东自转，赤道上的物体高速向东运动，在两极没有这种运动，其他地方则以中间速率运动。如果将赤道上的物体向北或向南推（射出的子弹，或吹向两极的风），向东的多余速度将使它偏向旁边，好像有一个力推它似的。这个力就是以古斯塔夫·科里奥利（Gustave Coriolis, 1792 – 1843）的名字命名的科里奥利力。

corona **冕**，恒星大气的稀薄外层。太阳的冕在日食时明亮圆面被月球挡住的情况下最便于观测。它向外延伸到好几个太阳半径处，然后逐渐消失在行星际空间。见太阳。

COS B **科斯 B［卫星］**，1975 年欧洲空间局发射的一颗用于从太空研究γ射线的天文观测卫星（COS = Celestial Observation Satellite），其工作能段从 70MeV 到 5,000MeV，运转到 1982 年。

cosmic abundances **宇宙丰度**，宇宙中各种元素的相对数量。

虽然氢和氦产生于大爆炸，但几乎所有其他元素是后来宇宙演化过程中在恒星内部加工出来的（见核合成），而且数量都少得多。宇宙丰度的标准度量是以太阳、地球和其他太阳系天体的研究为依据的。若用每种元素的原子数表示，则太阳的丰度是氢 90.8%，氦 9.1%，其他所有元素加起来 0.1%。这与用光谱学方法测得的其他恒星的比例相似，虽然在宇宙较年轻时形成的年老恒星的重元素含量甚至更少。

将太阳系的所有物体都考虑在内，最普通元素的丰度可以用质量或原子数来表示。因为氢是最轻的元素，它只占太阳系质量的 70.13%，氦占 27.87%，而按质量居第三位的最普通元素氧仅占 0.91%。但大多数天文学家更喜欢用原子数来度量宇宙丰度。在这一尺度下，硫是第十位最普通元素，宇宙中每一个硫原子（严格说是每个硫原子核），大致对应 1 个铁原子；2 个氖原子和 2 个镁原子；3 个硅原子；4 个氮原子；20 个碳原子；30 个氧原子；3,000 个氦原子；50,000 个氢原子。

除这前 10 名外，另 5 个元素（铝、氩、钙、镍、钠）的丰度在硫丰度的 10% 到 50% 之间。其他一切元素都稀少得多；比如，每 1,000 万个硫原子才有仅仅 3 个金原子与之匹配。比铁更重的元素是稀少的，因为它们只能在超新星中产生。

另见CHON。

cosmic censorship **宇宙监察**，认为必定有一条尚未发现的物理定律保证每个奇点隐藏在一个视界后面，因而时间旅行（及其他一些事物）为不可能的一种假说。

1960年代中期，罗杰·彭洛斯（Roger Penrose）证明，根据广义相对论，任何在其视界内收缩的物体必然一直坍缩到一个密度无穷大、体积为零的奇点，在那里物理定律被破坏，因而任何事情都完全有可能发生。物理学家对此并不很关注，因为黑洞视界外面的人永远看不到里边发生的事，所以这样隐藏起来的奇点对外面的宇宙没有影响。

如果存在过一个裸奇点，它应该将物质和能量注入宇宙，因而更像白洞而不是黑洞。从一个裸奇点可能浮现出几乎任何东西——氢气、滚滚而来的速冻盒装便餐，或100万个一模一样的斯蒂芬·霍金。浮现出物质基本成分质子和中子的可能性应该大得多。确实，霍金和彭洛斯证明，宇宙的膨胀表明它正是在这种过程中从时间起始时刻的一个奇点中诞生的。但是，从裸奇点出来的东西完全是漫无规律地产生的，所以真的可能是任何东西。

彭洛斯推测，如果不存在裸奇点这样的东西，就可能避免这一麻烦局面。但相对论学家克利福德·威尔（Clifford Will）将这个局面概括为：'宇宙监察假说没有得到令人信服的证明。对于如何将宇宙监察的含糊概念表述成数学公式也没有哪怕是一般性的一致看法。'确实，我们知道宇宙本身是从一个奇点浮现出来的，这个现成的证据说明宇宙监察假说是错误的。

1990年代，对于非球状物体（例如纺锤）坍缩方式的计算机模拟表明，它们真的能够形成不隐藏在视界后面的奇点。即使以这种方式隐藏的奇点，若它们所处的黑洞通过发射霍金辐射而'蒸发'的话，最终也可能失去它们威严的伪装。

另见婴儿宇宙、虫洞。

cosmic distance scale **宇宙距离尺度**，测量宇宙大小的第一步是利用三角法，即大地测绘员所用的同一方法，不过天文学家通常称之为三角视差法。拿一支铅笔，伸长手臂，轮流闭上一只眼睛，你就能明白这个方法的工作原理。先用一只眼睛然后用另一只眼睛看，铅笔好像在背景上移动。这是因为你的两只眼睛是从一根很短的'基线'两端以稍许不同的角度看铅笔的缘故；正因为此，你从两只眼睛获得了立体（三维）景象；也因为此，你得以判断距离。

如果天文学家从相距很远的两个天文台同时观测月球，由于视差的缘故，从两个天文台看到月球在

遥远恒星背景上的位置是不同的。知道了天文台之间的距离（基线），测出视差大小，天文学家就能计算出到月球的距离（大约400,000公里）。（见315页的图。）

同样的方法可以用于比较近的行星。火星距离的第一次相当精确的测量是1671年进行的，当时一组法国天文学家从法属圭亚那的卡宴观测这颗行星的位置，另一组在巴黎同时观测。圭亚那观测组回到法国后，将他们的结果与巴黎组的进行比较，而计算出了火星的距离。

将这种视差测量与行星运动的开普勒定律结合起来，天文学家得以计算地球和其他行星到太阳的距离。这提供了一根新的基线。地球到太阳的平均距离是1.496亿公里，所以地球轨道的直径大约是3亿公里。地球在它的轨道上绕太阳走一圈需要一年，所以相隔6个月在地球上同一天文台的观测就是从跨越地球轨道直径的3亿公里长的基线两端进行的。

少数恒星离太阳足够近，用这个方法可以测出它们的视差，结果表明它们的视差极小，还不到1角秒。这个方法导致使用一个新的距离单位，叫做秒差距；一颗恒星如果距离正好是1秒差距（pc），它对地球轨道的3亿公里基线应该显示2角秒的位移（也就是说，如果我们能在太阳和地球上，即在1.5亿公里或1天文单位长的基线两端同时测量，恒星应该显示1角秒的位移）。1秒差距约等于3.26光年，或者刚刚不到地球和太阳之间距离的206,265倍。没有任何一颗恒星离我们近到能使它的视差大到哪怕只有1角秒，这就是为什么一直要等到1830年代才成功地测出首批恒星的视差。

首批恒星视差测量是天文学家了解宇宙大小的第一个真正向导。他们得出恒星天鹅座61的视差是0.29角秒，对应距离3.4pc；天琴座α的视差是0.12角秒，对应距离8.3pc；现在已知离太阳系最近的恒星半人马座α的视差是0.76角秒，对应距离1.3pc，只有4.3光年。这个最近的恒星系统到太阳的距离比太阳系中最远的行星冥王星要远7,000倍。

到20世纪初只测量了60颗恒星的视差，但照相术推进了视差测量的应用，采用电荷耦合器件使它得到进一步改进。1989年发射的伊巴谷卫星以0.002角秒的精度测量了多于100,000颗恒星的位置。但是，即使这样的精度也只能将视差测量范围伸展到几百秒差距。这已经是直接测量天体距离的极限了；所有超出这一视差极限的其他测量都有赖于间接方法和一系列推理，从此引发了有关宇宙距离尺度

精度的意义深远的争论。

有三个方法对扩大我们银河系内的距离测量范围特别有用。第一个方法涉及恒星颜色测量和星光的光谱学分析。恒星可分为相似的群体，据此可以认为具有类似颜色和光谱特征的恒星应该有大致相同的绝对星等。所以，如果一颗特定类型的恒星离我们近到能用三角视差法测定其距离，那么与它相似的恒星的距离，就可以通过把它们的视星等同距离已知恒星的视星等进行比较，而估计出来。

另外两个方法与恒星横过天空的运动方式有关。恒星接近或远离我们运动的速率可利用引起星光红移或蓝移的多普勒效应加以测量，恒星横过视线的运动速度能够直接测定（如果它足够近而且运动足够快的话），两个速度相加就可以得出它在空间的真正速度。

利用这些观测的方法之一适用于在空间一起运动而且离太阳不太远的星团。一群朝同一方向运动的恒星实际上是沿着像火车铁轨的平行线移动，正如铁轨似乎在远处会合到一点，在很多年内测得的星团中恒星的运动看起来也将会合到天空的某一点。这样，天文学家就能知道恒星朝什么方向运动。知道了恒星运动有多快，又知道了运动的方向，就可以计算出它们应该有多远才能产生观测到的横过视线的速度。

这个方法叫做移动星团法，它能测得几十秒差距的距离。移动星团法的一次重要应用是在 20 世纪头 10 年测定了毕星团的距离。毕星团含有 200 多颗恒星，距离约 46 秒差距。由于该星团所有恒星的距离大致相等，使天文学家得以对好几类恒星的亮度进行定标。

另一个测量恒星距离的方法显得相当奇特，但挺管用。如果我们随机选取一大批距离大致相同（尽我们所能）、且足够近使得能测量其横过视线的自行的恒星，那么可以设想，平均说来，星群中一颗星朝某个方向运动的机会应该与朝另一方向运动的机会一样多。由于银河系既不坍缩也不飞散，所有无规运动就必然或多或少互相抵消。因此，如果将用多普勒效应测得的随机样本中所有恒星沿视线的速度相加并取平均值，则可以预期这群星横过视线（或任一其他方向）的平均速度应该与此基本相等。在这个假定下，将推测的平均速度和实测的自行进行比较，就能够给整个星群定出一个‘平均距离’。

这个方法叫做统计视差法。只要你处理的星群有足够多的恒星，统计视差法就能给出合理的距离（当然，这是因为有些恒星的距离能够用其他方法，如三角视差法加以测量）。而至关重要的是用这个

方法有可能测量包含几个造父变星的星群的距离。由于造父变星的变化与它们的绝对星等有关，知道了几颗造父变星的距离，其他所有造父变星的距离就能够通过测量它们的变化周期而估计出来（见莉维特，亨丽爱塔）。

我们整个银河系的大小是根据造父变星的观测确定的。银河系是一个扁平状的盘，中央厚约4,000秒差距（边缘薄得多），直径30,000秒差距，太阳在离中心约9,000秒差距的银河系边远地区。整个盘镶嵌在球状星团构成的直径约15万秒差距的巨大而人烟稀少的球形晕中。

其他星系的距离是用各种各样的方法测定的，但最重要的还是利用造父变星。这使得红移与膨胀宇宙中距离的关系（见哈勃定律）得以定标，因而红移现在已能独立用来测量像类星体这种最遥远天体的距离了。然而我们周围一小撮邻近恒星之外整个距离测量体系的基石，却是用统计视差法直接测定的少数几颗造父变星的距离。

现在我们用一个常见的东西——阿司匹林——作比喻，看看所有这一切距离的大小比例。如果我们太阳大小如一片阿司匹林，那么最近的恒星就是140公里外的另一片阿司匹林。对恒星之间的距离来说，这是颇具代表性的——从一颗恒星到其近邻的距离是恒星本身直径的数千万倍（当然双星和聚星中的恒星除外）。我们银河系这样的星系含恒星数千亿颗，它们分布在相应的巨大体积中，它们全体由引力维系在绕星系中心的轨道上。

为了得到星系之间距离的概念，我们改变一下比例，用一片阿司匹林代表整个银河系。现在，离我们最近的大型星系——仙女座星系（M31）将是仅仅13厘米远的另一片阿司匹林。这可能使人误解，因为我们的银河系和仙女座星系都是本星系群——引力维系在一起的星系系统——的成员。但是最近的一小群星系——玉夫座星系群——的距离，在阿司匹林尺度上，也仍然只有60厘米。这个尺度的3米以外，则是室女座星系团，它将是包含2,000多个阿司匹林般大小的星系的大集体，占据一个篮球那么大的空间。

我们可以将这个类比进一步外延。大约20米外是另一个大星系团——后发座星系团，再往外还有甚至更大的星系团，其中有些自身跨度就达到20米左右。强大的射电源天鹅座A的距离是45米，个天空最亮的类星体3C 273是130米。而整个可见宇宙，在我们银河系用一片阿司匹林代表的尺度上，则可以包容在直径仅1公里的球中。

显然，与银河系空间的恒星相比，河外空间中的星系要丰富得多，拥挤得多。如果半人马座α按照玉夫座星系群与银河系相对距离的比例向太阳靠近，它就会比我们更稍微接近太阳一些！如果星系按恒星之间相对距离的比例分开，那么最近星系到我们的距离将是实际宇宙中看到的最远天体距离的大约100倍。我们甚至不会知道除我们自己的本星系群之外还有别的东西存在。宇宙学家之所以能够研究整体宇宙、宇宙中物质的分布、以及宇宙演化时物质分布的变化，等等，纯粹是因为这是一个塞满了星系的拥挤空间。

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]；迈克尔·罗恩－鲁宾逊著《宇宙距离阶梯》[22]。

cosmic dust **宇宙尘**，以小颗粒形式存在于恒星之间的物质。星际尘粒的直径可以大到10微米（1微米等于百万分之一米），也可能小到0.01微米。它们因为吸收和散射蓝光和紫外辐射，使通过的星光显得比较红而被发现——这同地球大气中的尘埃散射蓝光而透过红光，形成壮丽晚霞的情形是完全一样的。

星际红化改变恒星的颜色，这是很多天文观测都必须计及的。在我们银河系内，由于存在星际吸收，星光每传播1,000秒差距，恒星亮度即减弱大约1星等。

光谱学研究表明，大部分星际尘粒由石墨（碳的一种形态）和硅酸盐构成，其外层可能是冻结的水或氨（氨是氢和氮化合物），或是固态二氧化碳。尘粒大概是冷星大气流出的物质形成的，占星际云全部质量的大约2%，而整个银河系盘中尘粒总质量高达太阳的2亿倍。

星际云中的煤烟和氨颗粒为制造复杂分子提供了可以发生化学反应的表面。弗雷德·霍伊尔爵士和昌德拉·威克拉马辛格认为有可能造出生物体的分子（见胚种广布假说），这个推测因1994年在星际云中发现一种氨基酸（甘氨酸）而获得证实。

星系之间没有尘粒，但肯定有气体形态的星系际物质，可能还有暗物质。

另见CHON、星际化学。

cosmic microwave background **宇宙微波背景**，见背景辐射。

cosmic rays **宇宙线**，实际上是来自太空的粒子，它们几乎全都带有电荷，以极高的能量——高达每个粒子10^{20}电子伏（eV）——撞击地球大气。这比地球上粒子加速器中达到的最高能量还要高得多。低能宇宙线产生于太阳；能量在10^{9}～10^{19} eV的粒子来源于银河系天体，如超新星；最高能的粒子大概来自我

们银河系外。

cosmic string **宇宙弦**，大爆炸遗留下来的假想物质，其形态为比一个原子狭窄得多、但可能伸展到跨越整个宇宙的能量管。

宇宙弦是大爆炸发生时刻的副产品，最恰当的是把它想像为大爆炸的一部分'冻结'并陷入一根直径仅一个原子核直径 10^{-14}倍的管子中。由于宇宙弦含有创生时刻之后约 10^{-35}秒时宇宙的能量密度，所以尽管它如此狭窄，它的每一厘米应该等效于 1,000 亿亿吨物质。1 米长的宇宙弦就与地球一样重。

宇宙弦不能有端点（如果有端点，其内部的能量将漏出去），它的存在形式只能是封闭的环或恰好跨越宇宙的段。封闭的宇宙弦环有如拉紧的松紧带，将像拨响的吉他弦那样'叮当地响'。弦的拨动要多快有多快，可能接近光速，所以直径 1 光年的宇宙弦环大约一年振动一次。这将产生引力辐射，将能量泄漏到弦外，直至宇宙弦环收缩到无影无踪。

没有宇宙弦存在或曾经存在过的证明，但可能是这样的物体提供了宇宙年轻时期发育成星系的'种子'。弦环的引力作用将气体云聚集起来，到弦环振动而最后消失之前，气体云已经大到足以独立完成星系形成的任务。

如果一束宇宙弦通过你的房间，你将不会感受到通常引力意义下的弦的质量（这仅当从远处看弦环时才是'可见'的）。但如果宇宙弦以接近光的速率运动，它在通过时将使空间变形。如果宇宙弦正好水平地通过房间（和你），你将不会有任何感觉，但宇宙弦过去后，房间的地板和天花板（更不用说你的头和脚）将以数公里每秒的速率猛然撞在一起。

很少有人认真对待宇宙弦概念，但很多人喜欢从描述这种奇特事物的方程式中获得享受。对此，《宇宙的原料》[5]一书（约翰·格里宾和马丁·里斯著）有所讨论。

不要把宇宙弦与粒子物理学的某些理论援引的那种'弦'相混淆——见弦理论。

cosmic year **宇宙年**，太阳和太阳系在绕银河系中心的轨道上运行一周所需要的时间；它大约等于 2.25 亿年。

cosmogony **天体演化学**，研究宇宙间各种事物而非宇宙本身（见宇宙学）的起源和演化的学科。最初它只限于太阳系的起源，但现在已扩大到恒星和星系，甚至涉足物质如何从大爆炸中产生的研究。

cosmological constant **宇宙学常数**，爱因斯坦在用广义相对论说明宇宙时，为使宇宙模型维持静止而引进的一个参数。那时，在 1917 年，宇宙膨胀尚未发现，爱因斯坦因其

方程式的解总是表明空间要么膨胀，要么收缩，就是不能静止，而深感为难。

1920年代末埃德温·哈勃和其他人发现宇宙正在膨胀以后，原始形式的宇宙学常数就不再需要了，后来爱因斯坦把他发明这个参数称为他一生'最大的失误'。不过有些宇宙学家仍然喜欢同带有宇宙学常数的方程式打交道，因为他们能够通过选择常数的数值而'创造'五花八门的'好玩'的宇宙。

近来，宇宙学常数概念在暴涨理论和有关星系形成的研究中再次流行。由于宇宙学常数影响宇宙膨胀速率，所以能够选取一个让宇宙膨胀速率增加的宇宙学常数，使得它的作用像是一种反引力，或一种虚空的能量（真空的能量）。这正是暴涨时期发生过的事情，因而暴涨时期可看成宇宙学常数的影响相当大的时期，但后来这种影响衰减到了零。

它肯定已经衰减到非常接近于零，因为对遥远星系的观测，没有显示出任何大于 10^{-66}（用爱因斯坦曾经用过的单位）的宇宙学常数对今日宇宙膨胀的影响。但是，即使很小的宇宙学常数也能对宇宙怎样演化到今天这个样子产生影响，有些理论家已经玩过这样的模型。特别是，增加一些宇宙斥力能使宇宙更年老，星系和星系团这类特征也就有较多时间进行演化。但是这些模型丑陋而不自然，要使它们符合实际情况，必须对模型进行非常仔细的'微调'。

cosmological models　宇宙模型，宇宙学家造不出物质的宇宙模型，但他们能够建立数学方程组来说明各种可能宇宙的行为。这些宇宙（英文词首字母是小写'u'）就是宇宙模型。它们有的能说明现实宇宙（英文词首字母是大写'U'）的某些事，有的却什么也说明不了。

有些方程式比较容易解，研究这些模型的行为只需要一支铅笔、几张纸，再加点儿智力就行了。阿尔伯特·爱因斯坦就是这样发现了广义相对论方程式预言的宇宙膨胀；亚历山大·弗里德曼和其他人也是这样发展了对相对论允许的各种宇宙的认识。

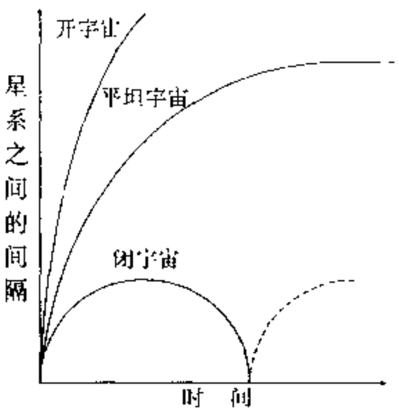
其他宇宙模型考虑了更多的细节和更复杂的相互作用，它们的方程式只能借助高速电子计算机求解。但我们宇宙有一个既奇妙又可能很重要的特点，就是它看来可以很好地用爱因斯坦方程式的最简单解来描述——爱因斯坦自己就说过，'关于宇宙的最不可理解的事就是宇宙是能够理解的'。

以不带宇宙学常数的爱因斯坦方程式为基础的三组最简单宇宙模型，是以它们描述的宇宙最终命运来划分的。开宇宙是始于大爆炸并

永远膨胀下去的宇宙；闭宇宙是始于大爆炸、膨胀到一个确定大小然后坍缩为大崩塌的宇宙；平坦宇宙正好在前两者的分界线上，它永远膨胀但越来越慢，在终结状态下永久'徘徊'而不坍缩。闭宇宙模型的一个变种是，大崩塌由'反冲'取代，因而宇宙重复地膨胀和坍缩。虽然我们的宇宙可能是开的，也可能是闭的，但它却难以同平坦宇宙区分开。

增加一个宇宙学常数，就可以创造更复杂的模型。有一个模型起始于无穷大，收缩到有限大小，然后再次膨胀；另一个模型从大爆炸开始向外膨胀，然后膨胀减慢以至停止，在大小不变的情况下停留任意长的时间，然后再次膨胀。还提出过其他一些模型。但这些奇异的模型被认为同现实宇宙没有多少关系。

另见减速因子、稳恒态假说。



宇宙模型。三类主要模型。要么是永远膨胀的开宇宙，要么是逐渐停止膨胀的平坦宇宙，要么就是终将再次坍缩的闭宇宙（或'反冲'而转入另一轮膨胀）。

cosmological principle **宇宙学原理**，宇宙中没有优先地域这一特性的陈述——不管你在宇宙的何处，宇宙的总体性质看起来都是一样的。

宇宙学原理的最明显例子是宇宙膨胀时星系退行速率正比于星系到我们的距离（见红移）。不论你碰巧身处哪个星系，这一退行定律（红移与距离成正比）都适用。设想一块沿一直线画有墨水点子的橡皮，每个点子与相邻点子的距离是1厘米，如果将橡皮拉到原来的两倍长，则每个点子相对其他任一点的退行均遵守这个定律。

原来相隔2厘米的两个点变成相隔4厘米，原来相隔4厘米的两个点变成相隔8厘米，等等。一个点出发时与任一选定点的距离如果是另一点与该选定点距离的两倍，那么在相同时间内它相对选定点运动的路程也将是另一点相对选定点所走路程的两倍。换言之，即使我们看见所有方向的星系均匀退离我们，地球也并不在宇宙的中心。

对遥远天体如类星体的光进行的光谱学研究表明，物理定律在可见宇宙中任何地方的运行方式是相

同的，这是宇宙学原理的另一个例子。它也可以表述为地球平凡性原理——地球是一颗在宇宙的一个极其平凡的地方绕一颗平凡的恒星运动的平凡行星。

有些宇宙学家在1940年代推出'完全宇宙学原理'，试图把这个思想推广到时间。完全宇宙学原理认为，不单是从宇宙的任何地方，而且在任何时候，宇宙都应该显得一样。这导致了稳恒态假说的提出，但这个假说已经被宇宙随时间的推移而变化以及宇宙几乎肯定起源于有限时间以前的大爆炸的证据所驳倒。

cosmological redshift　宇宙学红移，见红移。

cosmology　宇宙学，研究整体宇宙及其起源和演化的学科。宇宙学与天体演化学是不同的，后者研究的是宇宙中的天体（如星系）的起源和演化。

虽然宇宙学根源于古代神话和传说以及希腊对行星运动的研究，但现代宇宙学基本上是借助阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论方程式对最大尺度时空行为的数学描述。所以现代宇宙学的诞生年代可以很精确地定位在爱因斯坦首次应用那些方程式描述整体宇宙的1917年。

虽然有些理论家发展了另一些可供选择的引力和时空理论，并从这些理论导出了不同于爱因斯坦理论的宇宙模型，但这些宇宙学都已经被观测否决了（见脉冲双星）。在爱因斯坦理论框架内，主要的宇宙学假说有两个——大爆炸和稳恒态。

这两类模型都与宇宙因空间伸展而膨胀的观测证据一致，但大爆炸模型把这看成是宇宙在有限时间以前从一个奇点诞生出来的证据，而稳恒态模型则认为星系分开时应该有新物质不断地产生以填充它们之间的空隙，使得宇宙的总体状态保持不变。

简单的稳恒态假说已被认定为错误，因为现在已有了宇宙随时间变化的确切观测证据。只剩下各种可能的大爆炸模型还可以看成是对现实宇宙的可能描述。在观测精度的范围内，我们的宇宙无法与遵从欧几里得几何学定律的平坦模型区别开，这也是爱因斯坦方程式允许的最简单的可能宇宙。

COSMOS　宇宙测量仪，爱丁堡皇家天文台用于扫描望远镜（特别是联合王国施密特望远镜）拍摄的照相底片并从中获取天文信息的一台自动测量设备。

Cosmos　大宇宙，指暴涨理论所要求的'超级宇宙'。我们的宇宙不过

是大宇宙内许多泡中的一个①。

Coudé telescope **折轴望远镜**，反射望远镜的一种，其镜面系统能在望远镜跟踪地球自转引起天体在天空上的视运动时，始终将恒星或其他天体的光聚焦在观测室的一个固定点，使得用无法跟随望远镜一起运动的笨重设备进行长时间观测成为可能。

Crab nebula **蟹状星云**，有人曾经挖苦天体物理学家的职业可以分成相等的两部分——研究蟹状星云及其内容物和研究宇宙中其他一切事物。近年来，因宇宙已能在整个电磁波谱进行观测和发现了极具天体物理重要性的新型天体，这种挖苦有所平息；不过蟹状星云确实具备一些几乎所有天体物理学家都感兴趣的性质。

蟹状星云本身是金牛座中一个发光的气体尘埃云，离我们大约两千秒差距。它又被称为金牛座A、M1和NGC 1952。它有这么多名称是因为它能在几乎所有波段观测到——蟹状星云是最早证认为已知天体的三个射电源之一，是第二个被发现的X射线源，它也是从地球看第二个最亮的γ射线源。

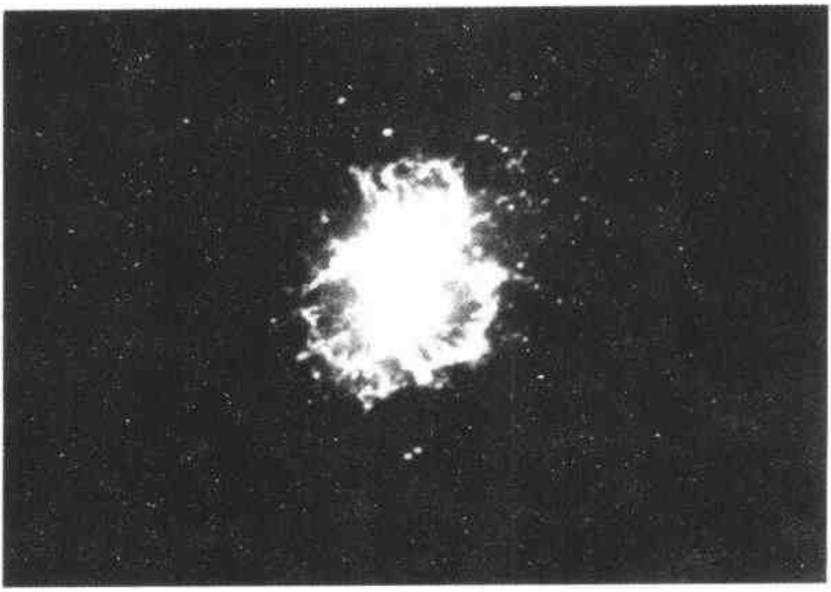
蟹状星云是1054年中国人观察到的一次超新星爆发的遗迹，该超新星一度比金星还亮，白天能见长达23天。爆发产生的碎片云一直在膨胀，云中物质仍在以大约1,500公里每秒的速率向外运动。所以，从英国天文爱好者约翰·贝维斯（John Bevis，1693－1771）第一次用望远镜观察蟹状星云以来，它的外貌已经显著改变。

蟹状星云含有细长的纤维状物，1844年最先看到这些纤维的罗斯勋爵（Lord Rosse）把它们画成图，结果有点儿像螃蟹的螯，这就是蟹状星云名称的由来。

纤维向外运动的速率（20世纪用多普勒效应和直接测量相隔多年拍摄的照片两种方法定出的）与根据中国人的观测估计的蟹状星云年龄符合得极好——以这一速率匀速膨胀约900年正好应该形成这样大小的云。但这提出了一个难题，因为如果蟹状星云单纯是从很久以前的爆发地点向外运动的碎片，它们在稀薄星际介质中开路前进时应该逐渐减慢下来。

这个难题也与蟹状星云的其他特征有关系。纤维物质的主要成分是氢，它应该足够热，主要发射红光；但蟹状星云的总体颜色却是独特的不常见的淡黄，在天文照片上的整体外貌像一个镶着红棉花边的黄色棉球。

① 见导言部分第21页脚注②。——译注



蟹状星云。用望远镜看到的最壮丽天文景观之一，又叫做金牛座 A、M1 和 NGC 1952。

黄色光是由所谓的同步加速辐射过程，即脱离了原子的自由电子在强磁场中回旋运动时产生的。这种过程经常产生射电辐射，但蟹状星云中的能量极多，致使电子也能辐射可见光。1950 年代对蟹状星云的研究提供了宇宙中能够自然产生同步加速辐射的第一个证明。与大多数星云不同的是，蟹状星云的中心部位最亮，这说明蟹状星云中心必定有一个仍在起作用的能源，是它维持了蟹状星云的热度并将气体向外驱赶。

蟹状星云以同步加速辐射形式输出的总能量是 3×10^{38}尔格每秒，等于太阳总能量输出 4×10^{33}尔格每秒的 75,000 倍。而且这还是一颗 900 年前'死亡'的星发出来的！好几位天文学家早已有了这些能量从何而来的想法。早在 1930 年代，弗里茨·兹威基曾提出，超新星爆发可能留下一个中子星形态的恒星遗迹。虽然很少人认真看待这个思想，瓦尔特·巴德却指出蟹状星云应该是寻找中子星的最佳地点，他甚至认为那里确有一颗可作

为候选者的恒星，有时称之为巴德星。而在发现脉冲星一年前的1966年，约翰·惠勒和意大利理论家佛朗哥·帕西尼（Franco Pacini）已经推测蟹状星云发射的能量之源可能是一颗自转的中子星。

但他们关于蟹状星云能源的思想直到1968年才有人认真考虑（说良心话，人人都几乎没有时间来了解这些思想），那时，在发现第一批脉冲星一年之后，射电天文学家发现有一颗脉冲星几乎就在蟹状星云的中心位置。这是当时已知最快的脉冲星，它每秒钟自转30次；正是这颗脉冲星发射的电子产生了同步加速辐射，并将能量从脉冲星转移到星云。

由于损失能量，蟹［状星］云脉冲星（也叫做NP 0532①）迅速变慢，其自转速率只要1,200年就降低一半。这一变慢速率虽然不大，但蟹状星云中心的自转中子星贮存的能量极多，尽管损失的能量使脉冲周期每天仅仅增加3×10^{-8}秒，也足以维持星云的全部能量输出。

蟹状星云被证认为射电源后，又发现它在可见光和X射线波段发出同样频率的闪耀。巴德星真的是一颗中子星。如果有人在1960年代初就认真考虑一颗恒星每33毫秒闪光一次这一荒唐可笑的见解，并且设计一个搜寻巴德星这种闪光的实验，他也许已经用光学天文方法先于射电天文学家发现了脉冲星。不过，老实说，正是由于巴德星已经被承认（即使只有巴德一个）是中子星候选者，而且正好在一个超新星遗迹的中心位置，它的被证认为脉冲星才使天文学家在1968年承认所有脉冲星都是超新星爆发产生的中子星。

与这颗星有关的全部活动表明，该脉冲星精力极为旺盛，而这与它的年轻有关——这是最年轻的已知脉冲星。

蟹状星云中的纤维本身也很有趣，光谱学研究显示，纤维物质所含的氦，与氢相比，数量达到通常在恒星表层看到的七倍左右。这是由于母恒星爆发前其内部通过核聚变过程生成了氦（见核合成），而爆发时内部的富氦物质与表层混合的缘故。

单是纤维中发光气体的质量大约等于太阳的质量，但爆发时应该抛出多得多的物质，不过我们看不见，因为它是不发光的。尽管脉冲星残骸（即中子星）大概只有太阳一半的质量，原始恒星的质量则应该是太阳的很多倍。我们在蟹状星

① NP是NRAO pulsar（国家射电天文台脉冲星）的简称。——译注

云中看到的浓缩恒星物质的抛射，就是将重元素扩散到空间、形成供制造后代恒星和行星的原料的过程。

Crab pulsar 蟹云脉冲星，蟹状星云中的一颗脉冲星，又名 NP 0532。这是最年轻的已知脉冲星，是1054年从地球上看到产生了蟹状星云的超新星爆发形成的。它的自转周期已用光学天文、射电天文和X射线天文方法探测到，均为 0.0331 秒 NP 0532 发现于 1967 年。

craters 环形山，在月球表面、类地行星、地球本身和巨行星的许多卫星上看到的碗形凹地。极少数环形山可能产生于火山活动，但绝大多数是来自太空的固态天体（流星体）撞击行星和卫星而形成。

环形山的大小决定于撞击天体的大小。有些环形山宽阔只有 1 米左右，最大的环形山直径超过 1,000 公里。造成环形山的流星体实质上是太阳系形成过程遗留的碎片，它们因与行星和卫星碰撞而不断被清除，所以环形山的形成在碎片较多的太阳系年轻时期比较频繁，不过今天仍在继续。

在地球和金星上，大气活动（还有地质活动）造成严重侵蚀，所以只有不久前形成的环形山清晰可见（见巴林格陨星坑）；在火星上，尽管大气很稀薄，最古老的环形山也已经被侵蚀干净了。但在无大气的天体上，如月球和水星，环形山形成的全部迹象都保存下来，它们的表面有很多过去 40 亿年间重复撞击造成的重叠环形山，其中大多数是 30～40 亿年前形成的。

在地球上，大气起着保护作用，它使质量小于 100 吨左右的流星体减速，相当多物质因与大气摩擦生热而烧掉。一个大气外质量为 1,000 吨的流星体在它撞击地面时将减少到 300 吨，典型撞击速率为 5 公里每秒。这样的撞击将造成一个直径 150 米的环形山。

更厉害的撞击也发生过，而且可能还会发生（见世界末日小行星）。一个像直径近 1 公里的伊卡鲁斯小行星那样大的天体撞击地球，将造成超过 20 公里宽、2 公里深的环形山。在德国发现了一个大小与这差不多的受到侵蚀的古代环形山遗迹；在加拿大、南非和西伯利亚还发现了更大的'化石'环形山。

critical density 临界密度，宇宙要成为处在永远膨胀和终将再坍缩两者边界线上的平坦状态所需要的当前密度，其数值在 10^{-29} 和 2×10^{-29} 克每立方厘米之间，大致等于宇宙中明亮恒星和星系贡献的密度的 100 倍。见宇宙模型、暗物质。

curvature of spacetime 时空曲率，产生引力的质量的存在引起的时空畸变。

弯曲空间概念是19世纪通过非欧几何学的数学研究而产生的。在阿尔伯特·爱因斯坦诞生前25年的1854年，伯恩哈德·黎曼（Bernhard Riemann）第一个提出，自我封闭宇宙中的空间可能弯曲成三维弯曲球面的等价物。英国数学家威廉·克利福德（William Clifford）信奉并发扬了这一概念，他领悟到，除整体宇宙的总曲率外，还可能有他比作‘小丘陵’的局部畸变。

1905年发表的爱因斯坦狭义相对论用一个数学描述把时间和空间统一起来。1908年赫尔曼·闵可夫斯基（Hermann Minkowski）证明这等价于一个四维欧几里得几何学的描述，所以空间和时间结合成的时空可以看成一张展平的纸的四维等价物。

1916年发表的广义相对论说明了这张‘展平的纸’被物质畸变时将会发生的事。现在请把它想像为拉紧的蹦床表面；在表面上放一个重物将造成一个使时空弯曲的凹坑（这正好与克利福德比喻的小丘陵相反）。如果你在表面上滚动一个弹子，弹子将沿弯曲轨道运动，好像轨道被一个力拗弯了。这就是爱因斯坦理论中的引力作用方式——物质存在决定时空如何弯曲，时空曲率决定物质如何运动。

宇宙整体时空弯曲的可能性仍是一个未决问题（见宇宙模型），但弯曲时空概念在黑洞研究中却已经取得惊人的成就。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]。

61 Cygni　天鹅座61，天鹅座中的一颗暗星，仅仅因为是离太阳最近的恒星之一，它成为第一颗测出视差（在1838年）的星而引人注意。它的视差等于0.29角秒，所以天鹅座61（它实际上是一个聚星系统，其中一颗星绕一个双星运动）的距离是3.4秒差距。所有三颗子星加在一起也只有与太阳大致相等的质量。

Cygnus A　天鹅座A，从地球上用射电望远镜‘看到’的银河系外最强的射电源。有些射电源本来更强，但因为离我们更远而看起来比较弱。天鹅座A是一个双源，它有两个射电噪声瓣，分别位于红移等于0.057的中央星系两边。

Cygnus X-1　天鹅座X-1，天鹅座中的一个几乎肯定含有一个黑洞的强X射线源。该X射线源在一个双星中绕恒星HD 226868运动，其质量为太阳的6~15倍，远大于奥本海默-弗尔科夫极限。

Cygnus X-3　天鹅座X-3，天鹅座中的一个X射线源。该源被证认为具有异常短周期4.8小时的双星系统，源本身可能是绕一个小质量恒星运动的中子星。

D

dalton 道耳顿 = 原子质量单位。

dark matter 暗物质，天文学家知道宇宙中的东西比我们眼睛看到的要多。对有着一双对可见光敏感的眼睛的人类来说，明亮的恒星和星系是显著的宇宙成分。直到1980年代，人们普遍认为宇宙的大多数物质可以利用它发出的光或者其他形式电磁辐射来研究。但现在已经清楚，明亮物质形态的质量远远不到宇宙质量之半。而且，占宇宙很大部分质量的暗物质，其大多数甚至可能不是制造了太阳和恒星、地球和人类的那种物质。

从1930年代以来天文学家就知道，我们自己的银河系肯定含有一些暗物质。虽然银河系的所有恒星分布在一个直径约100,000光年、厚仅2,000光年左右的薄盘（中心较厚，边缘较薄）中，它们在绕银河系中心运动的同时却不断地上下跳动。这种很像缝纫机针通过布料上下跳动的运动，是受盘中物质数量约束的。物质越多，跳动的幅度越小，因为引力对恒星的控制越紧。统计研究表明，银河系盘中的物质至少有我们看到的明亮恒星物质的两倍。

对银河系这类星系自转方式的更新近的研究（利用光谱学方法测量多普勒效应）也表明甚至存在更多的暗物质。在一个与银河系相似的星系整个盘体范围内，自转速率是不变的，这只能意味着整个明亮恒星盘体镶嵌在一个更大得多的暗物质晕中，这个晕从四面八方把明亮的星系包围在它的引力控制范围之内。此种情景颇像薄薄一片奶油在一杯搅动的黑咖啡中打转。

到1980年代中期已经知道，银河系中的暗物质总共达到我们看到的恒星形态物质的10倍。大约与此同时，对宇宙整体的研究表明，星系际空间深处隐藏着多得多的能将星系维系在星系团中的暗物质。

个别星系在星系团中的运动速率可从多普勒效应得出。星系团的整体红移是由宇宙膨胀所引起，但星系团内的星系显示稍微不同的红移，因为它们的无规运动叠加到宇宙学红移之上了。结果发现，星系在团内的运动太快，光靠我们看到的星系形态物质的引力不能将它们维持住。既然星系团维系在一起（要不它们就不会在那儿），就必定存在另外的暗物质。这些宇宙学暗物质数量大约10倍于星系本身包括暗物质成分在内的全部物质。

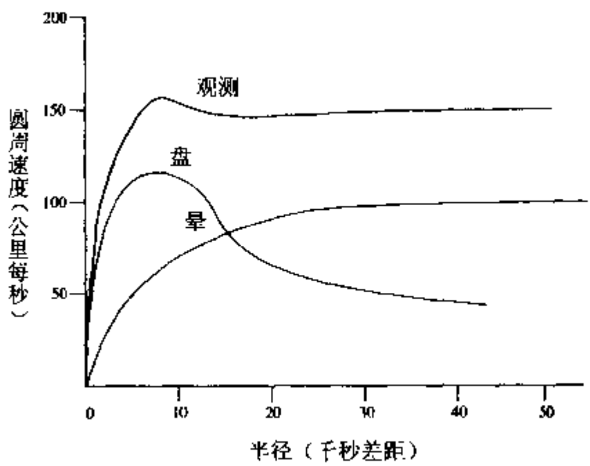
在整个宇宙这一最大尺度上，还可能有另外的暗物质。如果基于大爆炸的暴涨模型正确，宇宙的时空就必定非常接近平坦（见宇宙模型），整个宇宙范围内的平均物质密度应该大约等于 5×10^{-27} 千克每立方米。宇宙中的明亮物质数量只相当于这一临界密度的 1% 上下，即使加上为解释星系团中星系运动所要求的暗物质也只能将此数值提高到临界密度的 30%。大致说来，宇宙中的暗物质至少是明亮物质的 30 倍，也可能多达 100 倍。它们是什么？它们又在哪里？

我们根据直接观测所知的所有物体——恒星、行星和人类——是由叫做重子物质（见重子）的同一种物质构成的。宇宙中重子物质的数量决定于宇宙由之诞生的大爆炸宇宙火球中的条件。对作为大爆炸余辉的背景辐射的研究，和形成于宇宙年轻时期的极年老恒星中氦数量的光谱测量，对已经形成的重子物质的可能数量提出了严格的限制。总的说来，重子物质数量可能达到明亮恒星形态物质的 10 倍之多，但不能再多了。

这表示我们银河系的全部暗物质都可能由与构成你的身体、或地球、或太阳的原子同类的物质组成。但宇宙尺度上的暗物质不可能是重子物质。

我们银河系中大量重子物质成为暗物质的途径有两条。恒星发光是因为内部核聚变反应把轻元素（氢是典型代表）变成较重元素（氦是典型代表）并在此过程中释

暗物质。暗物质。盘状星系典型‘自转曲线’示意。观测的自转曲线（上面）不能单用盘中的明亮恒星分布的引力来解释（中间）。必定存在一个暗晕的影响与盘的引力一起才能产生观测的总效果。



放能量。但这些聚变反应只有当恒星具有足够质量，能把内部的氢压缩到足以克服带正电荷的原子核相互排斥倾向，才可能触发。

制造一颗恒星的临界质量介于太阳质量和太阳系最大行星木星的质量之间，而木星质量只有太阳质量的0.4%。一个天体若其质量小于太阳质量的大约8%，它在自身引力作用下收缩时仍然能变得很热，但却永远不会热到能触发核燃烧。它将成为一颗表面温度永远不能高于2,000K、亮度永远不会大于太阳亮度百万分之一的褐矮星，然后再衰减成完全不可见的黑矮星。

第二条途径比较壮观但不太可信。有些天文学家认为，当我们的银河系很年轻时，巨大的物质云可能已经坍缩成了星系体。这是一种质量极大的天体，它们很快走完生命历程而后爆发，留下一个大质量黑洞。这种黑洞应该看成是重子物质，因为它们本来就是由恒星构成的。每个这样的黑洞含有数百万倍于太阳的质量——但如果它们真的存在过，它们就应该对星系结构产生了可察觉的影响（如星系自转远不会那样平滑），但这种影响却看不到。

这两种类型的暗天体在银河系中居统治地位，并把银河系牢牢控制在其引力束缚之下。天文学家称它们为'大质量致密晕族天体'，并给它创造了一个相当不错的缩略语MACHO①（或马乔体）。有些来自引力透镜效应的证据表明，我们银河系的晕中确实存在MACHO。

可是，将星系团维系在一起并使时空平坦的非重子物质又是什么呢？它们现在已经有好几种名称了。总的名称是弱相互作用大质量粒子——WIMP②（或温普粒子）。这表示它们是一种具有质量，因而有引力作用，但与普通重子物质作用微弱的物质。WIMP又分为两个（假设的）类型。产生于大爆炸、运动速率比光慢得多的WIMP叫做冷暗物质，或CDM。产生于大爆炸、运动速率接近光速的WIMP叫做热暗物质，或HDM。

妙的是，粒子物理学的大统一理论确实要求存在迄今尚未探测到的粒子，而且这些理论认为CDM和HDM这两种形式的WIMP都是可能的。于是，在最大尺度上研究

① 'MACHO'是英文'Massive Astronomical Compact Halo Objects'的首字母缩略词，而'macho'是西班牙语，意为'强壮男子'、'雄武的'。——译注

② '弱相互作用大质量粒子'的英文是'Weakly Interacting Massive Particles'，'WIMP'乃其首字母缩略词。——译注

宇宙的宇宙学，和在极小尺度上研究物质世界的粒子物理学，都认为WIMP形态的暗物质应该存在。

如果宇宙中的大量物质是WIMP形态，那将对宇宙年轻时期星系的形成方式产生深刻影响。CDM粒子趋向于聚集成团，产生能够吸引重子物质（氢和氦气体）的引力'凹窝'。如果CDM在宇宙中占统治地位，星系的形成就应该是小物质凝块随着时间的推移而逐渐变大的'由小而大'过程。

反之，快速运动的HDM粒子趋向于将早期宇宙中任何开始形成的气体云炸开，就像炮弹炸毁一堵砖墙。随着HDM变冷和变慢，重子物质得以在宇宙各处扩散成巨大的薄饼状物体，它们在引力不稳定性作用下破碎，这种'由大而小'过程产生的碎片便形成了星系。

这两种简单模型都不能准确符合宇宙中星系的实际图景。但是，将当前的星系成团方式，与COBE卫星观测的背景辐射涟漪所显示的宇宙中曾经存在过的不规则性相结合，则表明，大约2/3的CDM、1/3的HDM再加上仅仅1%的重子物质构成的混合物，能够产生今日所见的大爆炸宇宙中物质的分布。这就是'混合暗物质'模型或MDM模型。

这就是说，宇宙中2/3的质量是取理论要求存在却从未探测到的粒子形态。已有人给它们起了诸如轴子和引力微子等名字，还有人试图在实验室中找到这些CDM形态的WIMP。

仍有多达1/3的宇宙质量可能是HDM粒子，扮演这个角色的著名候选者就是中微子。最初中微子的质量被认为等于零，一直到1995年初，实验得出的质量上限为20电子伏。这甚至同一个质子大约10亿eV的质量相比也小得可怜，但宇宙中的中微子数量极多，大致每有一个重子就有10亿个中微子。所以，要使中微子起到宇宙学家要求在MDM模型中HDM的作用，每个中微子的质量只要5～7eV即可，这与实验定出的上限不近不远得令人着急。1995年初，洛斯阿拉莫斯国家实验室的科学家们宣布，他们的实验证明中微子的质量仅仅几个电子伏，这与宇宙学家所要求的准确相符；然而这一宣告没有得到（1995年5月进行的）其他实验证实。

关于中微子的大部分讨论集中在一种类型——由涉及电子的核反应产生的电子中微子。理论证明，太阳内部会产生大量电子中微子，它们流向太空，穿过地球。但是迄今的实验没有探测到理论预言那样多的中微子（见太阳中微子问题）。还有两种中微子分别与μ介子和τ粒子有关，后两者都是电子的较重

对应体。物理学家早就猜想，太阳中电子中微子的短缺，是因为有些电子中微子已经转变成用现有中微子实验设备探测不到的其他类型中微子了。

中微子从一种类型转变为另一种类型仅当它们的质量很小才有可能。这对宇宙学家是好消息，而新近宣布中微子真有质量，一开始也主要是关注于可能有一类中微子的质量大约是 5eV，即等于电子质量的十万分之一。这正好能够提供宇宙学家要求的 20% 热暗物质。但是，加利福尼亚大学圣克鲁斯分校的约尔·普里马克（Joel Primack）、洛韦尔天文台的乔恩·霍尔兹曼（Jon Holtzman）、新墨西哥州立大学的安那托利·克莱宾（Anatoly Klypin）和加利福尼亚大学圣巴巴拉分校的大卫·科德威尔（David Caldwell），却发现了一个更好的解决这一问题的途径。

他们注意到，解释从太空到达地球的中微子实际观测数据的最佳办法，是让至少两类中微子具有差不多相同的质量。这能促进将中微子从一种类型变为另一种类型的'振动'。有两种与太阳中微子观测结果相符的可能性。要么所有三类中微子具有相同质量；要么 μ 中微子和 τ 中微子有相同质量，而电子中微子则轻得多且与不参加核反应的所谓'无效'中微子相伴生。根据普里马克及其同事的见解，1995 年初探测到中微子质量的实验，可以用第二种而不能用第一种可能性来解释。

这意味着，提供宇宙中热暗物质的，不是质量 5eV 的单一品种中微子，而是质量约 2.4eV 的两种中微子（留出少许给电子中微子）。尤其令人愉快的是，用计算机模拟星系如何成长时，如果将 20% 热暗物质看成粒子数加倍但每个粒子质量减半，其结果与实际宇宙的符合程度，比全部中微子质量由单一类型粒子提供时更好。

改进实验方法争取几年之内直接测量各类中微子质量应该是可能的。当实验物理学家真的测量了这些中微子的质量，而且发现它们总计达 5eV 左右，那将是以暴涨、大爆炸和暗物质为基础的完整宇宙学体系的最伟大胜利。而宇宙学家竟在粒子物理学家得以测量之前，就预言了已知最轻粒子（光子这种无质量的粒子除外）的质量。

不管实验的结果如何，也不管混合暗物质模型的命运怎样，无可怀疑的是，我们银河系的大部分物质是暗物质，可能是重子物质；而将星系团维系在一起的 10 倍于我们在明亮星系中所见的质量则决然是非重子的。

补充读物：约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]；劳伦斯·克劳斯

著《第五要素》[23]。

dark nebula 暗星云＝吸收星云。

dark night sky 暗夜天，见奥伯斯佯谬。

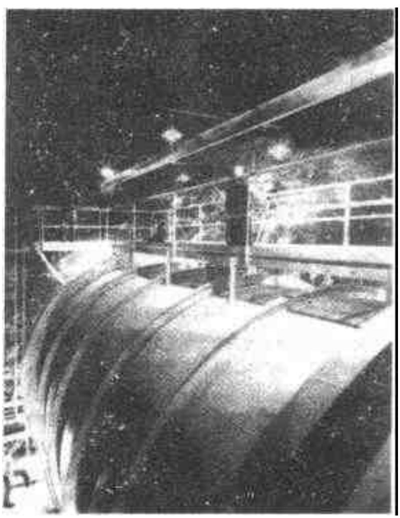
Davis, Ray Jr 戴维斯（小），雷（1914－），美国天体物理学家和化学家，设计并建造了第一台测量太阳中微子流量的实验装置。

戴维斯出生于哥伦比亚特区华盛顿，在马里兰大学和耶鲁大学求学，1942年获物理化学博士学位。第二次世界大战期间服兵役后，曾在蒙桑托化学公司工作两年，但他的大部分职业生涯，从1948年直到1984年退休，都是以化学家身份在布鲁克黑文国家实验室度过的。退休后，戴维斯前往宾夕法尼亚大学任天文学教授，这一看似奇怪的晚年职业转变，是由于他长期从事一项与化学有关，但却是为了探测从太阳内核来到地球的粒子的实验。

这些粒子就是太阳中心产生能量的核聚变反应所生成的中微子。由于中微子与普通物质几乎没有相互作用，它们能够完全无损地从太阳中心出发穿透外层，然后通过太空流向地球。原则上，这些中微子能够被探测，从而提供直接窥视太阳核心条件的'窗口'。早在1948年，当时还没有任何人梦想过要探测太阳中微子，戴维斯被允许自己挑选在布鲁克黑文的研究计划，他认定中微子物理学这个能发挥其物理化学特长的新领域应该是合适的。

1950年代，尽管戴维斯从事地质样品和陨星（后者导致他参与研究阿波罗飞船带回来的月球岩石）中发现的放射性同位素研究，但他的主要兴趣却是设计和建造能够捕获地球上的核反应堆产生的中微子的探测器。

1950年代末和1960年代初，威利·福勒和约翰·巴科等天体物理学家计算了太阳中微子流量强度。虽然那时已经明白，中微子极不情



戴维斯探测器。盛干洗剂的容器大如奥林匹克运动会的游泳池，戴维斯及其同事用它捕获来自太阳的中微子。

愿与普通物质相互作用，会给建造太阳中微子探测器带来极大困难，但戴维斯迎接挑战，发挥想像，开始了太阳中微子探测器的研制。探测器必须屏蔽以避免任何其他东西可能引起的干扰（如宇宙线及类似物），所以（1964年开始）把它建造在南达科他州雷德市深处地下的一座金矿中。为辟出安放探测器的空间，大约挖去了7,000吨岩石。探测器是一个大小如奥林匹克竞赛用游泳池的容器，内装400,000升全氯乙烯（通常用作干洗剂），总共大约含2×10^{30}个氯原子。根据理论计算，与中微子极为稀少的相互作用偶尔也会将单个氯原子转变为放射性氩原子，这可以根据它特有的放射衰变和使用化学方法加以探测。

从1968年进行首批实验以来，所有结果一致表明，到达地球的太阳中微子数量只有标准太阳模型预言值的1/3到1/2——它们能够每两到三天在戴维斯探测器中产生一个放射性氩原子。这就是太阳中微子问题。

1990年代初，新的探测器，如ICARUS和SAGE，证实了太阳中微子流量不符合标准模型预计值。现在还不清楚为什么会这样，一个比较受欢迎的可能解释是，中微子自身在前往地球的旅途中转变成了无法探测的形态。

Davis experiment **戴维斯实验**，见戴维斯（小），雷。

decay **衰变**，见放射衰变。

deceleration parameter **减速因子**，宇宙膨胀减慢的速率，通常用符号q_0表示。如果减速因子小于0.5，宇宙将永远膨胀；如果它大于0.5，宇宙终将在某天坍缩成大崩塌（见宇宙的命运）。减速因子的真实数值是如此接近0.5，测量它又是如此困难，致使观测者还不知道等待我们的命运是什么。

de Chésaux, Jean-Philippe Loÿs **德谢梭，让-菲利普·罗伊**（1718－51），瑞士天文学家，他是将奥伯斯佯谬以现代形式加以阐述的第一人。

德谢梭是一个神童，他受教于他的知名学者祖父。18岁时就负责建造瑞士第一座天文台。1740年代前叶，因发现两颗彗星和撰写有关这些发现的书而出名。就是在这本1744年出版的书的附录中，他提出了他关于暗夜天难题的陈述。德谢梭终生遭受健康不佳之苦，33岁访问巴黎时去世。

declination **赤纬**，天文学定义天体在天空中的方位（见赤经）所用的两个坐标之一。天体的赤纬（dec）是从天赤道向北或向南量到该天体的角距离——也就是天球上的纬度。

decoupling era **解耦时期**，大爆炸约

30 万年后，电子与氢和氦原子核结合形成中性原子的时期。由于电磁辐射只与带电粒子相互作用，物质和辐射便在此刻'解耦'。那时，宇宙中的一切都像今日太阳表面那样热，背景辐射则是能够揭示当时宇宙究竟是什么样子的化石印记。

Deep Space Network 深空探测网，美国宇航局对月球轨道以外太空飞船进行跟踪和通讯的射电天线系统。三具直径各 70 米的标准抛物面天线（实质上就是射电望远镜），合理分布在地球表面，使得当地球自转时，任何太空飞船在任何时候发来的信号，至少能被一具天线接收到。

deflection of light 光线偏折，广义相对论预言，遥远恒星发来的光经过太阳近旁时，将'弯曲'一个确定的量，观测这种弯曲是对广义相对论的关键检验之一。惟一适宜观测这种现象的时机是日食，因为太阳的耀眼光芒被月球遮挡，因而能看见被食太阳附近的恒星。

阿尔伯特·爱因斯坦于 1916 年发表预言这一效应的论文，恰好 1919 年就有一次适宜的日食。英国天文学家亚瑟·爱丁顿组织了一个远征队前往非洲西海岸外普林西比岛观测该日食，另一队则到巴西进行观测。事后，将拍摄了太阳附近天空恒星方位的照片，与 6 个月前当地球在其轨道上处于太阳另一侧、因而能在夜间看见这些恒星时拍摄的同一天区照片进行比较。结果表明，日食时拍摄的恒星看来因光线偏折而向旁边移动了少许——移动的量与爱因斯坦预言的准确一致。

原则上，只要光线经过一个大质量物体近旁，都会发生这种偏折，尽管偏折通常极小而难以测量。偏折是与质量相关的时空曲率引起的。在比较极端的情况下，这同一个效应将引起引力透镜现象；而在最极端条件下，光线将完全陷入黑洞之中。

degenerate matter 简并物质，密度高到使量子效应对其行为起支配作用的物质；特别是，这时的向外压力比根据经典力学这一密度的物质所具有的压力高得多。

简并物质存在于年老恒星之中，这些恒星耗尽了核燃料后，无法再通过核聚变反应维持其内部温度，因而发生引力坍缩。在恒星内部极端温度和压力条件下，电子并不与原子核紧密结合成原子，而是在叫做等离子体的物质中自由穿行于核与核之间。当一颗临死的恒星在自身引力下收缩时，电子和原子核被挤压得越来越靠近，直到量子效应出来制止进一步挤压电子为止。这时，只要恒星质量足够小，它就会变成大小与地球相仿、由电子简并压力支持的稳定的白矮星。

如果恒星在这一演化阶段的质量仍然大于昌德拉塞卡极限（略低于太阳质量的一倍半），甚至简并电子压力也不能制止进一步的引力坍缩。电子被迫与质子结合成中子，使得坍缩可以继续进行，直到提供了电子简并压力的同样一些量子过程导致中子简并，而制止中子彼此进一步靠近为止；这时整个恒星成了一个直径只有数公里的中子构成的球——中子星。但是，如果这一生命阶段恒星的质量大于太阳的3倍左右（奥本海默－弗尔科夫极限），即使中子简并也无法支持它，它将继续坍缩，把构成它的物质压碎而变成黑洞。

degenerate star 简并星，简并物质构成的恒星；另见白矮星、中子星。

Deimos 火卫二，火星的天然卫星之一，是一个不规则形状小天体（大小仅 15×12×11 公里），在 23,460 公里高的轨道上绕火星运行一周历时 1.26 天。可能是一个被俘获的小行星。

Democritus of Abdera 德谟克利特（阿布德拉人，约公元前 470－400），希腊哲学家，他提出宇宙仅由虚空和原子组成；认为原子是微小、坚硬、永远不变和不断运动的。这是对甚至更早的留基伯（Leucippus）思想的发展。虽然德谟克利特的工作未被遗忘（例如，为艾萨克·牛顿所知），但它对 18 世纪末现代原子理论的发展没有直接影响。

density 密度，物体的质量除以它的体积。普通水的密度是 1 克每立方厘米（10^6 克每立方米）。恒星与恒星之间气体的密度大约是 10^{-20} 千克每立方米，而最密形态的稳定物质是中子星，其密度为 10^{17} 千克每立方米。

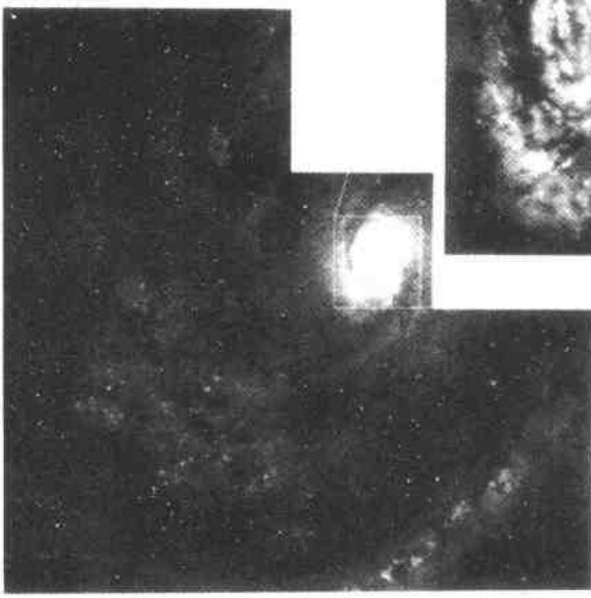
density parameter 密度参数，宇宙中具有引力的物质数量的量度，通常用希腊字母奥米伽（Ω）表示，也叫做平坦性参数。它的定义是，如果时空真正平坦（见宇宙模型），则 $\Omega=1$。在暴涨概念得到发展之前，宇宙学的最大难题之一，就是当前宇宙实际密度非常接近临界值——上下相差肯定不到 10 倍。这是奇怪的，因为当宇宙膨胀时，膨胀将使密度参数偏离临界值。如果宇宙起始时密度参数小于 1，则 Ω 随宇宙年龄增加而减小；如果宇宙起始时密度参数大于 1，则 Ω 随宇宙年龄增加而增加。今天的 Ω 介于 0.1 到 10 之间这个事实，意味着大爆炸的最初瞬间，它准确等于 1，误差不超过 10^{60} 分之一，这使得创始时的密度参数值成为整个科学中定得最准确的数字之一，由此自然推测它的数值是而且一直是准确等于 1（见平坦性问题）。这种情况的一个重要推论，就是宇宙中必定存在大量暗物质。

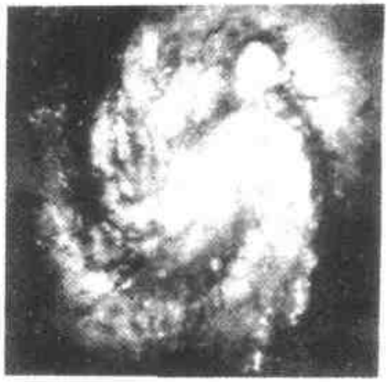
M100

室女座星系团中的一个旋涡星系

哈勃空间望远镜

宽视场行星照相机 2 号





上图是用行星照相机的最大分辨率获得的 M100 核心部分像.

左图是用宽视场照相机拍得的三幅像与用行星照相机拍得的一幅像拼接而成。

密度波模型. 用哈勃空间望远镜获得的漂亮图像，显示了 M100 这个盘状星系极为发达的旋涡图样。

density wave model **密度波模型**，用围绕星系运动的波对盘状星系旋涡结构所做的一种解释，这种波类似于掉进池塘的石块产生的向外扩散的涟漪。

由于星系的较差自转，每颗恒星沿自己的轨道运动，由恒星分布决定的总体图像应该不断变化，因为运动快的恒星（离星系中心比较近的）会超越运动慢的恒星。这就可能产生旋涡图样，就像在黑咖啡中搅拌奶油时出现旋涡一样。但仅仅用较差自转还不能解释盘状星系的旋涡结构，因为图样保持的时间太长了。

较差自转产生的旋涡图样‘卷

绕'得很快，它包含的圈数应该与星系自转次数一样多。然而，尽管我们银河系这类星系很年老因而从它们形成以来自转了很多次，典型旋涡图样却只有一到两个由明亮年轻恒星描绘出的旋臂。

对这一现象的解释是，密度波绕星系运动的方向与恒星运动方向一致，但比恒星运动得慢，而旋臂则是密度波的可见部分。密度波运动速率约30公里每秒，大致是星际空间稀薄气体中声速的3倍。所以它在旋涡图样的前沿（外边凸起部分）产生一个超音速激波，就像协和式超音速飞机产生的激波一样。但恒星和气体尘埃云通过旋涡图样运动，追上它并以200到300公里每秒的速率奋力进入激波。由于气体云被激波挤压，于是触发引力坍缩，导致爆发式的恒星形成。

一旦某种因素使这一过程得以开始，它极可能自行维持下去。密度波最初大概是由于与另一个星系近距离相遇造成的引力摄动所产生，它触发了恒星的形成，而自行维持的恒星形成又有助于将密度波和旋涡图样保持得比它未得到加强时长久得多。有些盘状星系只有极不完整的旋涡结构，大概是因为它们没有受到近距离相遇的摄动影响，它们显示的图样仅仅是自我维持的大量恒星形成的结果。

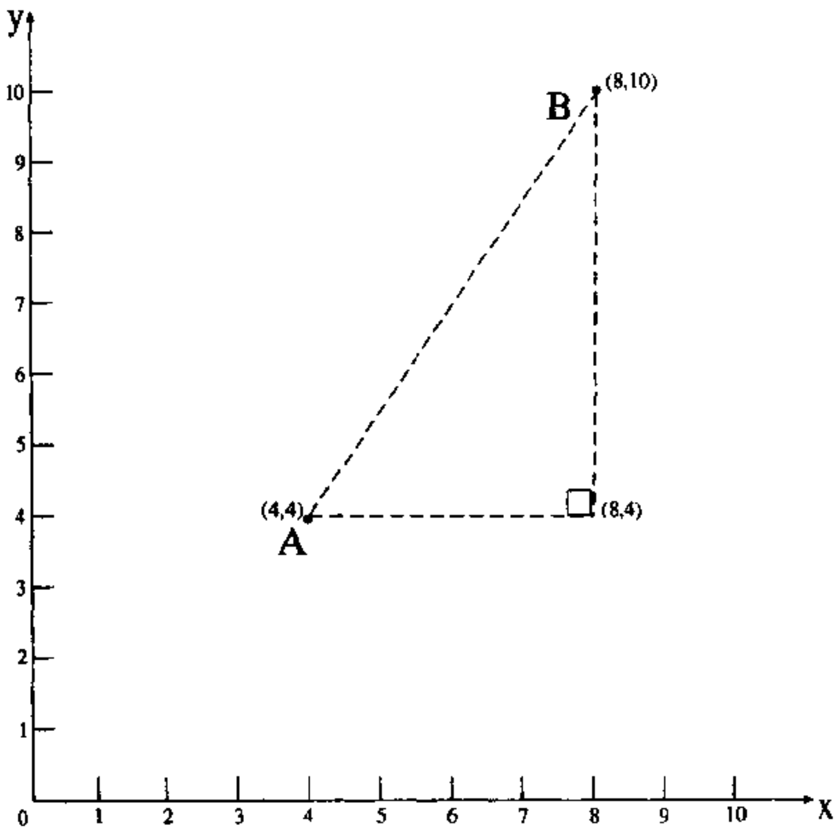
有些天文学家设想，密度波可能起源于盘状星系核心部位的爆炸事件，也许与特大质量黑洞有关。这就应该有涟漪向外扩散，而涟漪则可能通过以上描述的过程缠绕而成旋涡图样。但这个关于旋涡结构的解释没有被广泛接受。

Descartes, René 笛卡儿，勒内（1596–1650），法国数学家和哲学家，他发明了坐标几何学方法，该方法又称为笛卡儿几何学以资纪念。在阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论中，笛卡儿几何学对阐明时空概念发挥了无法估量的重要作用。



勒内·笛卡儿（1596–1650）

笛卡儿1596年3月31日出生在都兰地区的勒阿叶，是雷恩地方议会一位参议员的儿子。他是一个多病的孩子，很多时候是在病榻上进行思考。曾就读于耶稣会学校，后到普瓦提埃大学学习法律，1616年毕业。在获得法律学位之前，他就开始学习数学，并持续到毕业之



笛卡儿几何学。笛卡儿几何学能用代数方程式建立点与点之间的关系。利用直角三角形的毕达哥拉斯定理（即勾股定理——译注），A和B之间的距离可通过它们的笛卡儿坐标计算出来。坐标零点设在何处无关紧要，因为计算仅仅涉及两点坐标之差——在本图所示例子中为（10－4）和（8－4）。

后。后来他在服兵役时，以军事工程师身份得以施展其数学才能。笛卡儿就是在巴伐利亚公爵军队中服役期间的1619年11月10日晚间，舒舒服服躺在多瑙河畔营房的床上的时候，形成了他对几何学的革命性见解。

笛卡儿在其宏大著作《正确构建推理和寻求科学真谛的方法谈》中，对此有详细介绍。该书于1637年出版，通常简称为《方法谈》。他躺在床上，看见一只苍蝇在他房间的角落嗡嗡乱飞，他领悟到苍蝇在任何时刻的准确位置可以简单地用三个数来确定，那就是苍蝇到相交于房间角上的三个面（两面墙和一面天花板）的距离。他当时看到的是三维情形，但对二维情形也完全一样：一幅图上的每个点可用表示该点到 x 和 y 轴的距离的两个数（点的坐标）来定义。同样的办法也可以用在现代城市中——如果你告诉某个问路人'向南走三个街区再向东走两个街区'，你实际上就是指出了笛卡儿坐标的方向。

笛卡儿开创了利用数组和代数方程式之间关系研究几何学的可能性，而这终于在爱因斯坦广义相对论中得到应用，其中包括用四维弯曲时空对大爆炸和黑洞的数学表述。

笛卡儿还对天文学、数学和哲学做出了许多其他贡献。他在1629年离开军队后定居荷兰，但1649年他无法抗拒瑞典女王克里斯蒂娜的邀请而成为斯德哥尔摩宫廷成员，在那里建立了一所科学院。不幸，他发现他的职责竟包括每天凌晨5点钟拜见女王并亲自给她讲解哲学。

年过50的笛卡儿，每天在那样一个荒唐时刻从舒服的热被窝中爬起来，不久就在瑞典冬季严寒中受了凉。转成肺炎后，医生通过大量放血进行治疗，很快致他于死地。他于1650年2月11日去世，离54周岁生日还有几个星期。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；J.F. 斯科特著《勒内·笛卡儿的科学著作》[24]。

de Sitter, Willem　德西特，威廉（1872－1934），荷兰天文学家和宇宙学家，是应用阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式建立宇宙数学模型的首批人物之一。

德西特1872年5月6日出生在荷兰的斯尼克，其父为法官。在格罗宁根大学学习数学和物理学时，就对天文学产生了兴趣。毕业后，1897年到开普敦天文台工作，1899年回到格罗宁根任职；他的博士论文就是以他在开普敦的观测为基础的，1901年被授予学位。1908年德西特被聘为莱顿大学天文学教授，1919年起（直到去世）兼任莱顿天文台的台长。

德西特的观测工作是扎实的，但不辉煌。然而，当爱因斯坦于1905年发表狭义相对论时，德西特是立即懂得其重要意义的少数几位天文学家之一；1911年他还写了一篇论文阐述狭义相对论对行星轨道运动的可能含义。1916年广义相对论发表时，德西特即对它进行了评论，并在寄给伦敦皇家天文学会的三篇系列论文中发展了他自己的思想。这些论文的第三篇就讨论了可能的宇宙模型——包括膨胀宇宙模型（这是最先提出的膨胀模型，尽管其推论在1917年尚未能被充分理解）和振动宇宙模型两类。

德西特对爱因斯坦方程式的解似乎描述一个空虚静态宇宙（虚无时空）。但在1920年代初叶已经懂得，如果给模型添加少量（散布在整个时空的粒子形态）物质，粒子将因宇宙膨胀而按指数加速互相退离。这表示两个粒子之间的距离将以同一时间尺度重复地加倍。也就是说，某个宇宙钟滴答一声之后距离增加到2倍，滴答两声之后距离增加到4倍，滴答三声之后距离增加到8倍，滴答四声之后距离增加到16倍，等等。这好像你在路上走的每一步，都比前一步长一倍。

这似乎是完全不现实的；即使后来在1920年代末发现了宇宙的膨胀，膨胀也比这要平静的多。在我们今天看到的膨胀宇宙中，粒子（星系团）之间距离的增加是平稳的——它们对宇宙钟的每一声滴答均只走一步，所以两声滴答之后距离总共增加到2倍，三声滴答之后距离增加到3倍等等。但是，1980年代的暴涨理论提出，宇宙在诞生后的最初瞬间确实经历过指数膨胀阶段，这种暴涨式的指数膨胀，正好能用德西特模型来描述，这是1917年出现的对爱因斯坦广义相对论方程式第一个成功的宇宙学解。

德西特除了做出了他自己的贡献外，还在德国的爱因斯坦和诸如英国的亚瑟·爱丁顿这些天文学家之间建立了重要联系。由于荷兰在第一次世界大战中是中立国，爱因斯坦可以把他的论文寄给德西特，德西特又把它们寄给当时的皇家天文学会秘书爱丁顿，从而保证论文得以正常传播。

1920年代哈勃和其他人的观测证明了宇宙确实在膨胀之后，爱因斯坦和德西特联合发展了另一个基于爱因斯坦方程式的宇宙模型，并于1932年发表。这个爱因斯坦－德西特模型是用广义相对论方程式能够构造出来的最简单的模型。它像方程式要求的那样膨胀，但速率平缓以符合观测；膨胀的空间是平坦的（即遵守欧几里得几何学），因而实质上是狭义相对论所

描述的空间。该模型要求宇宙在某个确定的时刻诞生于一个奇点，并且（同德西特原始模型一道）与现实宇宙的外貌和1980及1990年代基于暴涨理论发展起来的标准宇宙模型十分符合。1932年的这篇论文甚至提到了宇宙中存在暗物质的可能性。

这是德西特对宇宙学的最后一个重要贡献；他于1934年11月19日因肺炎在莱顿去世。

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]；爱德华·哈里森著《宇宙学》[25]。

de Sitter expansion 德西特膨胀，见德西特，威廉。

de Sitter universe 德西特宇宙，见德西特，威廉。

detached system (detached binary) 不接系统（不接双星），见等势面。

deuterium 氘，氢的一种形态，它的每个原子核含有一个质子和一个中子。氘又称为重氢，氘的原子核叫做氘核。

deuteron 氘核，见氘。

De Vaucouleurs, Gerard Henri 德伏古勒，吉拉德·亨利（1918－95），法裔美国天文学家，专门研究星系的分布，并试图测定哈勃常数值，因而也就是为了确定宇宙年龄。

德伏古勒出生在1918年4月25日，求学于巴黎大学，1936年毕业。他的职业生涯因第二次世界大战一度中断，1945年以后曾在法国和澳大利亚任观测手，1957年获澳大利亚国立大学理学博士学位，同年迁往美国亚利桑那州的洛韦尔天文台，1958年他得到哈佛大学天文台的一个职位，1965年起任奥斯汀的得克萨斯大学天文学教授。

在德伏古勒开始其研究工作时，人们普遍认为，星系尽管聚集成星系团，星系团本身却是无规则地分布在整个宇宙范围内。但德伏古勒的研究证明情况并非如此，星系团本身又聚集成'超星系团'。他认为这一过程类似一种等级结构，是无止境的；最新观测数据虽不支持这个观点，但证明德伏古勒原先描述的那种超星系团是以纤维形态分布在宇宙之中，形成似乎缠绕在空旷区域外面的链和膜，这种空旷区域叫做空穴。

德伏古勒另外的主要兴趣是试图测定哈勃常数值。哈勃常数是宇宙当前膨胀有多快的一种量度，因而也就是宇宙自大爆炸以来经历了多长时间的量度。哈勃常数的估计依赖于遥远星系距离的测量，而这些测量的不确定性是相当大的（见宇宙距离尺度）。

在这类研究中形成了两大学派，两派使用了基本相同的观测资料，但得出完全不同的哈勃常数估计值。德伏古勒是主张哈勃常数值

比较大的一派的主要支持者［还有西德尼·范登堡（Sidney van den Berg)］，估计的数值十分接近100公里每秒每百万秒差距。与此对应的宇宙年龄小到令人沮丧——不到100亿岁，比某些恒星的估计年龄还要小。

对立的学派以艾伦·桑德奇（Allan Sandage）和古斯塔夫·塔曼（Gustav Tamman）为首，他们钟爱一个较小的哈勃常数，大约等于55公里每秒每百万秒差距，对应的宇宙年龄约180亿岁。

不可能两种估计值都正确，虽然为方便起见经常采用一个折衷数值75公里每秒每百万秒差距（即使这样，两大阵营仍然都不接受它!），但肯定其中一个数值是完全错误的。甚至可能两者都错；因为1990年代一些新方法得出哈勃常数值小到只有40公里每秒每百万秒差距。

德伏古勒逝世于1995年10月7日。

补充读物：迈克尔·罗恩－鲁宾逊著《宇宙距离阶梯》[22]。

Dicke, Robert Henry 狄克，罗伯特·亨利（1916－），美国物理学家，以研究宇宙背景辐射最为著名。

狄克1916年5月6日生于密苏里州的圣路易斯，1939年在普林斯顿大学获得他的第一个物理学学位，1941年获罗切斯特大学的博士学位，第二次世界大战期间在麻省理工学院研究雷达，1946年返回普林斯顿，在该校终于成为物理系主任和阿尔伯特·爱因斯坦科学教授，并度过他往后的全部科研岁月。

在麻省理工学院工作期间，狄克研制了一台测量电磁波谱微波频段辐射的仪器。这台仪器被称为狄克辐射计，与它相同的设计原理在他后来建造的用于同一目的的现代仪器中得到了应用。狄克和他的三名同事将一台仪器对准天空，想看看是否有任何来自星系的微波辐射；他们什么也没有找到，于是他们断言，如果有来自空间的任何微波辐射，那么它的温度应低于20K。宣布这一否定结果的短文发表在1946年的《物理系评论》杂志上。

狄克及其同事当时不知道差不多同时由乔治·伽莫夫和他的同事们预言宇宙充满微波背景辐射可能具有的重要意义，伽莫夫等人也同样不知道测量这一辐射的技术已经存在。

狄克把注意力转到了天体物理学的其他领域，完全忘记了他的开创性测量。他的新研究项目包括［与卡尔·布兰斯（Carl Brans）合作］发展一种不同于阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论的引力理论。布兰斯－狄克理论现在已被包括脉冲

双星的各种观测事实所排除，但狄克对引力的兴趣却使他证明了引力质量和惯性质量的等效性准确到了10^{11}分之一。

1960年代前叶，狄克开始对大爆炸宇宙模型发生了兴趣。在仍然不知道伽莫夫先驱工作的情况下，他和吉姆·皮布尔斯独立做出与伽莫夫基本相同的预言，即宇宙应该充满从大爆炸遗留下来的温度仅开氏几度的大量微波辐射。1964年，当狄克在普林斯顿的工作班子快要建成用于搜寻这一辐射的射电望远镜（实质上是改进的狄克辐射计）之际，他们接到阿尔诺·彭齐亚斯的电话，问狄克是否能够解释他和罗伯特·威尔逊在离普林斯顿仅仅50公里外的新泽西州的霍姆代尔，用仪器检测到的来自空间的奇怪微波辐射。

狄克和皮布尔斯继续保持着对微波背景和大爆炸本质的兴趣。1970年代，是他们促使天文学家关注起平坦性问题——宇宙处在开放（它将永远膨胀）和封闭（它终将再坍缩）两者之间的平衡点这样一种奇异状态。正是狄克关于这个问题的一次谈话，使艾伦·古斯（Alan Guth）注意到这个问题，并激励他提出了暴涨理论。

补充读物：马库斯·钟著《创造的余晖》[11]。

differential rotation　较差自转，一个系统的不同部分以不同的角速度自转。地球这样的刚体必然是均匀自转的，但气态物体能较差自转。例如，木星和太阳的赤道部分就比纬度较高的部分自转得快些——所以它们的较高纬度地区的‘一天’都比较长。

Digges, Leonard and Digges, Thomas 蒂杰斯，伦纳德（？1520－59）**和蒂杰斯，托马斯**（？1546－95），先后发明望远镜（伦纳德）和推广使用望远镜（托马斯）的父子俩。托马斯·蒂杰斯还提出宇宙大小无限的见解。

关于伦纳德·蒂杰斯的早期生活所知甚少，但他曾在牛津大学就读，而且成了颇为著名的数学家、测绘师和好几本书的作者。他的书都用英文写就，这在当时是不常见的。第一本书是1553年问世的《综合预言》，是一本畅销书，内容包括一部万年历和丰富的天文、天气和其他资料，其中就有托勒密关于宇宙的地心模型说明。

1990年代的天文学史研究表明，伦纳德·蒂杰斯无疑发明了反射望远镜（比艾萨克·牛顿早100多年），而且可能还制作了一台折射望远镜。（见Colin Ronan，《努力》杂志，16卷，91页；和17卷，177页。）但他没来得及把它们付诸实际使用，他因参与托马斯·怀亚特爵士（Sir Thomas Wyatt）领导的叛

乱，在1554年被判死刑，虽然后来改判为没收家产，但他的余生全部用于为重新获得财产而进行的斗争。

托马斯·蒂杰斯在其父去世时大概只有13岁，数学家约翰·迪（John Dee）成了他的监护人。年轻的蒂杰斯利用迪的书库中1,000多本手抄书进行学习，他在1571年发表了他自己的第一项数学成果和他父亲的遗著《万能测角术》，其中讨论了伦纳德有关望远镜的发明。托马斯观察了1572年的超新星，他的部分观测资料后来被第谷·布拉赫用来分析该超新星事件。

1576年，托马斯·蒂杰斯发表了其父《综合预言》一书的修订版，书名改为《预言永存》，其中收入了对尼古拉·哥白尼提出的日心宇宙模型的说明。在同一本书中，托马斯·蒂杰斯声称宇宙是无限的；这一结论可能部分以他的望远镜观察为依据，这些观察至少比伽利略用望远镜进行天文观察早35年。

托马斯·蒂杰斯还以下院议员身份履行两个职务——政府顾问和英国驻荷兰军队1586～1593年的总检阅官。

dirty snowball **脏雪球**，对主要由冰和尘埃构成的彗星核心部分（彗核）的描述词。乔托行星际探测器对哈雷彗星的近距离考察证实了这种结构，证明大部分尘埃是存在于彗核中的碳。

disk galaxy **盘状星系**，星系的一类，其中央核球（星系核）由冷恒星构成，周围是包含恒星、气体及尘埃的扁平物质盘。许多（决非全部）盘状星系的盘中恒星显示旋涡图样，但‘旋涡星系’一词常用来泛指所有盘状星系，而不管是否有旋臂。核球和扁平盘的比例大致像一只嫩煎鸡蛋的蛋黄和蛋白；盘的厚度大约是直径的1/15。

盘状星系相差很大。一种极端情形是中央核球非常突出，周围是紧密缠绕的旋臂；另一极端情形是核球不明显，其整个可见部分几乎全由盘本身所构成，旋臂的缠绕也很松散。有些盘状星系的旋臂从恒星组成的通过中心的棒两端向外卷绕；另一些的旋臂则直接从没有任何棒痕迹的星系中心向外卷绕。

多普勒效应表明，所有盘状星系都是较差自转的，都含有丰富的作为新恒星诞生场所的气体和尘埃。恒星形成由通过盘体的密度波触发，由此启动了自我维持恒星形成的过程。

我们的银河系是一个典型的盘状星系，而且我们知道它裹在一个由暗星和球状星团组成的球形晕中；其他盘状星系也被认为拥有类似的晕，但因为太黯淡和太远而无法看见。盘和旋臂中的恒星都是星

族 I 的成员，核球和晕中的恒星则是较年老的星族 II 成员。此外，盘状星系的自转特性表明，它们全都被质量更大得多的暗物质晕所包围。

盘状星系的大小相差悬殊。我们的近邻仙女座星系是一个大星系，其直径约 40 千秒差距，可能包含多达 1 万亿（10^{12}）颗恒星（大概是我们银河系的 10 倍）。但大多数盘状星系远远不到仙女座星系的一半大小。宇宙中全部星系的大约 30% 是盘状星系，60% 是椭圆星系，10% 是不规则星系。

distances **距离**，见宇宙距离尺度。

Dominion Astrophysical Observatory **自治领天体物理台**，主要从事光学天文观测，坐落在加拿大不列颠哥伦比亚省维多利亚附近，海拔 220 米。始建于 1917 年，拥有当时世界最大的望远镜（1.8 米反射望远镜，今天仍在使用），1962 年增加了一具较现代化的 1.2 米反射望远镜。

Dominion Radio Astrophysical Observatory **自治领射电天体物理台**，与自治领天体物理台配套的射电观测台，位于加拿大不列颠哥伦比亚省极少人工射电干扰的彭蒂克顿附近。它的射电望远镜包括一台 26 米抛物面天线和一个综合孔径系统，后者由安放在 600 米长轨道上的 7 个各 9 米直径的抛物面天线组成。

Doomsday asteroid **世界末日小行星**，专门用于指一个大的小行星碰撞地球并毁灭文明这一可能性的词汇。这种可能性因发现大约 6,500 万年前恐龙灭绝时代曾发生来自太空的巨大碰撞的地质证据而倍受关注；不过这样的碰撞是罕见的。

Doppler, Christian Johann **多普勒，克里斯琴·约翰**（1803 – 53），奥地利物理学家，他在布拉格国家技术科学院任教授时，于 1842 年预言了现在称为多普勒效应的现象。1845 年在荷兰检验并证实了这个预言，检验用的工具是由一辆蒸汽机车牵引的载着几名喇叭手的敞蓬车厢。

Doppler effect **多普勒效应**，发光或发声物体的运动引起光的频率或声音的音调发生变化。

克里斯琴·多普勒 1842 年预言的多普勒效应对声波的影响，是日常生活中常见的现象。当一辆警笛长鸣的急救车高速向你驶来，你听到的声调就比同一辆车子驶过你身旁高速离你而去时要高。这是因为，当车子朝你运动时，声波被车子的运动压缩（频率变高），而当车子离你而去时，声波被拉开（频率变低）。急救车经过你身旁时警笛声调的突然变化叫做'下降多普勒效应'。

多普勒效应在天文研究中十分重要，因为它以完全相同的方式作

用于光和其他电磁辐射。一颗向你运动而来的恒星（或其他天体）发出的光，其光波被压短而在光谱中产生蓝移；而一颗离你而去的恒星发出的光，其波长被拉长而产生红移。

虽然多普勒效应不能反映天体横过视线的运动有多快，但它确实能够给出天体在视线方向朝向或远离我们的速度的准确量度。若恒星的横向速度能够通过长期观测其在天空上的运动加以测定，就可以将它与多普勒速度相结合，而得出恒星在空间的真速度；这个方法对确定宇宙距离尺度是重要的。

通过多普勒效应的测量还能得出双星系统中的子星运动速度，由这些速度又能确定子星应该有多大质量才能维持在它们的轨道上；没有多普勒效应的测量，就不可能获得除太阳以外的任何恒星的质量。多普勒效应也用来测量星系的自转速度，以及星系团中的星系彼此之间的相对运动速度，这些测量揭示了宇宙中应该存在暗物质。

然而，星系的宇宙学红移却不能归因于多普勒效应，而是与宇宙膨胀相关联，因为它是由空间本身的伸展，而非星系在空间的运动所引起。

double star 双重星，天空中位置靠得很近的两颗恒星。有些双重星是相互有物理联系的双星系统，但另一些则是偶然出现在同一方向实际却相距很远的恒星。

Drake, Frank Donald 德拉克，弗兰克·唐纳德（1930 – ），美国天文学家，因在搜寻地外智能（塞提计划）方面的贡献而最为著名。搜寻的第一阶段是1960年用26米抛物面射电望远镜倾听可能的信号，称为奥兹玛计划（Project Ozma）[①]。1975年分配到阿雷西博射电望远镜的观测时间后，奥兹玛计划再度活跃，但至今未能接收到可视为地外文明通讯的任何信号。德拉克是将我们银河系中存在其他文明的可能性加以量化的德拉克公式首创人。

Drake equation 德拉克公式，弗兰克·德拉克提出的一个用于估计我们银河系中先进技术文明（定义为掌握了射电天文技术的任何文明）数目的公式。任何掌握了射电天文技术的文明，我们都可能用地球上现有技术与之建立联系。

德拉克公式考虑到了对类似我们地球文明得以存在的合适条件有影响的所有因素。这些因素包括银

① 奥兹玛乃美国作家赖曼·弗兰克·鲍姆（Lyman Frank Baum）的神话故事《绿野仙踪》中一个极其遥远的地方奥兹国（Oz）的公主的名字。——译注

河系中的恒星数目（N_*）、拥有行星系的恒星所占比例（f_p）、每个行星系中适合生命的行星（类地行星）数目（n_e）、出现了生物的合适行星所占比例（f_l）、已有生物栖息且智能得以进化的行星所占比例（f_i）、出现了掌握通讯技术的文明的行星所占比例（f_c）以及文明存在期在行星寿命中所占比例（f_L）。把所有这些因素相乘，便得出任何时候银河系中的技术文明数目（N），也就是说

$$N = N_* f_p n_e f_l f_i f_c f_L$$

这就是德拉克公式。所有的 f 因子都是一个介于 0 和 1 之间的数，把这些数相乘将使今天仍然可能存在的文明数目远远小于银河系中大约 1000 亿（10^{11}）的恒星总数。

这个数字到底是多少，取决于你对各种因素的乐观程度。如果全部恒星的1/3拥有行星，每个行星系中有两颗行星适宜生命，这些行星中的1/3真的出现了生物，而其中仅仅 1% 发展了技术文明（即 $f_i \times f_c = 0.01$），那么光是我们银河系就有 10 亿颗出现过技术文明的行星。今天还有多少，则决定于他们存活多久，看来可能有几百万技术文明今天仍然存在于我们的银河系之中。

这样的计算附和了费密佯谬——何以未能同任何一个文明建立联系。这个谜的谜底也许是我们代入德拉克公式的上述具体数字完全不对头，生命（或至少是技术文明）比这些数字估计的要罕见得多。

另见宇宙中的生命、塞提计划。

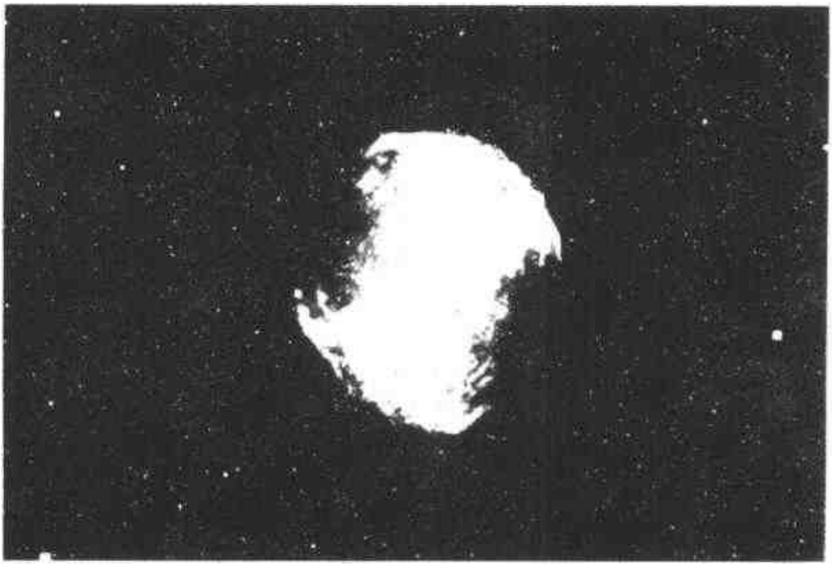
Draper, Henry 德拉伯，亨利（1837－82），美国天文学家，照相光谱学的开创者之一（其父约翰拍摄了已知最早的月球银版照片）。德拉伯逝世后，他的遗孀设立了一份基金以继续他的工作；这最终导致按照光谱特征收录恒星的《亨利·德拉伯星表》的出版。

Dumbbell nebula 哑铃星云，狐狸座中的一个行星状星云，又名 M27 和 NGC 6853。哑铃星云之名系罗斯勋爵所起，他于 1840 年用 1.8 米反射望远镜看到它颇像一个沙漏。

dust in space 太空尘，见宇宙尘。

dwarf galaxy 矮星系，类似麦哲伦云——我们银河系的伴星系——的小星系。矮星系和正常星系之间的分界线从来没有明确定义，但矮星系可能只含有几百万颗恒星，而我们银河系的恒星则有数千亿颗。不要与致密星系相混。

dwarf novae 矮新星，每隔几星期或几个月急剧增加亮度的暗星，亮度增加幅度一般为 2～5 个星等，持续数天。它们都是激变变星，即由一颗白矮星和一颗类似太阳的近距



哑铃星云（又名 M27 和 NGC 6853）。这个由临死恒星抛出的气体云以大约 27 公里每秒的速率膨胀。它的大小刚刚不到 1 秒差距。

伴星组成的双星系统，其中白矮星很可能经由吸积盘夺取伴星的物质。

dwarf planets　矮行星，见类地行星。

dwarf star　矮星，赫－罗图中任何属于主序的恒星的过时名称。该名称起源于早期将恒星分类为矮星和巨星；按照这种分类，太阳是一颗典型的矮星。但现在多用'主序星'一词，以避免同白矮星及其他远小于太阳的恒星相混。

Dwingeloo 1　德文格洛 1，1994 年才发现的一个离我们大约 1,000 万光年的近邻盘状星系。未能更早发现是因为它被银河系的尘埃严重遮挡。很可能它和梅菲星系属于同一个星系群。德文格洛 1 是用发现它的荷兰射电望远镜命名的。

Dyson, Sir Frank Watson　戴森，弗兰克·沃森爵士（1868－1939），出生在阿什拜德拉佐的英国天文学家，第九任皇家天文官（1910－1933）。他的主要工作包括研究恒星的自行和观测日食时的太阳外层。1919 年他组织两支日食远征观测队，通过对太阳近旁光线偏折的测量证实

了阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论的正确。

Dyson, Freeman John　戴森，弗里曼·约翰（1923－），英国出生的美国物理学家，科学上以辐射的量子理论（量子电动力学）方面的贡献最为著名。他热心于空间旅行事业，是戴森球概念的倡议者。

Dyson sphere　戴森球，一种假想的、由先进文明用人造材料创建的围绕一颗恒星的球壳。

英国出生的物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）1959年提出，局限在太阳系这类单一行星系中的智能物种，最终将因种群的膨胀而重新安排行星提供的原材料，以建造一个环绕母恒星的空心球。这个空心球不是刚性结构，而是由大量独立的'太空城'组成，每个太空城在自己的轨道上绕母恒星运动。

建造这种人工栖息地的要求是，每个太空城应该放在离母恒星最适合居民生息的距离上；为文明的发展提供最大可用面积和收集母恒星发射的几乎全部电磁辐射能量。这将使该恒星对普通光学望远镜来说是不可见的；但文明物种利用过的能量将以红外辐射形式重新发射出去（见热力学第二定律）。

戴森曾经建议搜寻可能是先进外星文明居留地的'红外星'。（迄今）还没有找到存在戴森球的天文学证据，但戴森球思想却已经被好些科幻作家大加利用。

E

$E = mc^2$ $E = mc^2$，见狭义相对论。

Earth 地球，太阳系中由内向外第二颗行星，是我们的太空之家。

地球是四颗类地行星中最大的一颗，直径 12,756 公里。地球绕太阳运行的轨道与太阳之间的平均距离等于 149,597,870 公里（1 天文单位），它绕自身的轴每自转一周需时 23 小时 56 分零 4 秒，这就是相对远方恒星量度的恒星日；由于地球自转时还沿轨道运动，从某日正午到次日正午的时间（太阳日）要稍微长些——等于 24 小时或 86,400 秒。地球沿轨道运行一周（比如从春分点出发再回到春分点）要 365.24 个太阳日（1 年）。

地球大气的密度介于其最近邻居金星和火星的大气密度之间；在



地球。从太空看到的地球景色，阿波罗 17 号登月飞行宇航员拍摄。

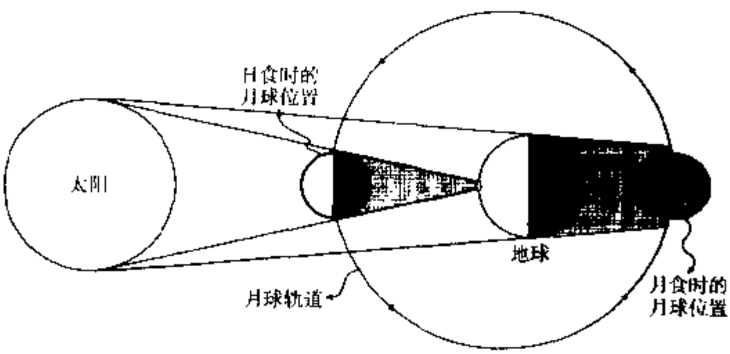
太阳系行星中，惟独地球拥有巨大的液态水海洋。今天的地球大气含有77%的氮、21%的氧、1%的水蒸气和0.9%的氩及极少量其他气体，其中最重要的是二氧化碳（见温室效应）。

地球是惟一已知有地质活动的行星，它的表层按地质学标准极为年轻，是在板块构造过程中形成的。这些过程把旧地壳推到深海底的地表之下从而将它们消灭，同时将大洋中山脊分布地带火山活动喷出的熔融物质转变成新地壳。

地球表层除了其地质构造很年轻外，还在风、水和波浪以及生物活动的侵蚀下不断变化，这使得很难辨认类似月球、火星和金星的环形山（以及雷达测绘的金星表面图所揭示的）的表面特征。但地质学证据表明，和其他类地行星一样，地球在其生命早期也遭受过强烈的陨星轰击。

地球的质量是5.976×10^{27}克，体积为1.083×10^{27}立方厘米，所以它的密度刚刚超过5.5克每立方厘米，等于水密度的5倍半。固体地壳的厚度在海底之下只有5公里，在大陆区平均约30公里。这一薄薄的表层之下是由不同层次构成的叫做地幔的区域，它向这颗行星中心的富铁内核延伸5,000公里。

地幔占地球体积的82%，被认为由硅酸盐岩构成。固体内核直径1,700公里，它和地幔之间是半流体外核；内核的温度约开氏3,000度。密度从内核的13.5倍水密度降低到地幔的5.5～3.5倍水密度；地壳岩石的密度平均约为水



食。月食和日食示意图（极不成比例，而且月球当然不可能同时出现在两个地方）。

密度的3倍。

eclipse **食**，当我们赖以观察一个天体的光或其他辐射暂时被另一个天体遮挡，即发生食的现象。通常，食是由于这第二个天体在明亮天体前面经过；但月食则是由于月球进入地球的影子。（见117页的图。）

日食只能在十分接近新月的时刻发生，这时月球正好位于太阳和地球之间的联线上，所以月球的影子落在地球的某个部分。并不是每次新月都能发生日食，因为月球的轨道与黄道面有大约5°的交角；仅当月球在新月时通过黄道面才会发生日食。日食是一种奇妙的巧合——虽然太阳比月球大400倍，但也远400倍，所以两者在天空中显得一样大（约半度）。日食时，月球几乎是恰到好处地'盖住'太阳在天空的整个圆面。

当月球进入地球的影子，即发生月食，此时月球和太阳位于地球的相对两边。这只能在接近满月的时候，而且月球处在倾斜轨道上合适位置，才能够发生。

在双星系统中，如果一颗子星从地球来看在另一颗子星前方经过，也会发生食。这可看成双星中一颗子星掩另一颗子星。日食同样可看成月球掩太阳。在其他系统中，比如木星的诸多卫星，也能发生食（掩）现象。

eclipsing binary **食双星**，两子星沿轨道相互绕转时，从地球来看一颗子星经过另一子星前方的一类双星系统。

ecliptic **黄道**，地球绕太阳运行的轨道所在的平面。从地球上看，太阳一年内在天空中的视运动（相对于背景恒星）所描摹的就是黄道面。除冥王星外，所有行星的轨道都十分接近黄道面。

Eddington, Sir Arthur Stanley **爱丁顿，亚瑟·斯坦利爵士**（1882－1944），爱丁顿是英国理论天文学家，也是最早的天体物理学家之一。他对阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论进行了关键性检验，扩大了物理学在认识恒星结构方面的应用；他还是1920和1930年代杰出的科学普及者。

爱丁顿于1882年12月28日出生在康布里亚的肯德尔，但在其父1884年死后迁往索美塞得郡的滨海韦斯顿。他被培养成一名贵格会教徒，终生未改，而这后来竟然影响到他参加验证爱因斯坦预言光线偏折的远征观察队。他曾就读曼彻斯特的欧文斯学院（后来成为曼彻斯特大学），后进剑桥大学并于1905年毕业。经短期教学后，他成了剑桥的三一学院研究员，并在格林尼治皇家天文台（当时仍在格林尼治）任职。1912年，30岁的爱丁顿成为剑桥大学天文及实验哲学普鲁明教授；1914年被聘为剑桥



亚瑟·爱丁顿爵士（1882－1944）。

天文台台长。除这些职务外，1909年他曾被派往马耳他去测定那里一座观测站的准确经度，1912年领导过一支派赴巴西的日食观测队。

当爱因斯坦在1915年向柏林科学院宣布他的广义相对论时，英国和德国正处于战争状态。爱因斯坦将论文副本寄给中立国荷兰的威廉·德西特，德西特把它们转交时任皇家天文学会秘书的爱丁顿。爱丁顿当时的职务，使他成为将爱因斯坦新理论介绍给英国科学界的理想人选，而他自己也很快成为新理论在德国境外的主要支持者。

皇家天文官弗兰克·戴森打算组织两支观测队，在1919年日食期间验证爱因斯坦预言，爱丁顿显然是领导其中一支观测队的合适人选。但出现了麻烦，因为英国已经开始征兵，而爱丁顿公开宣称作为一名贵格会教徒，他是严正反战者，并拒绝服兵役。经科学研究所和内务部的多方交涉，戴森找到了一个解决办法。爱丁顿的兵役被推迟，条件是，如果战争在1919年5月前结束，他将领导一支观测队，去检验有关光线弯曲的预言！爱丁顿充分证明了爱因斯坦理论的正确，并且继续为推广这一理论做出了主要贡献。

爱丁顿早年研究过恒星的自行。之后，他开始将物理学定律应用于恒星内部条件，用恒星内部温度、压力和密度之间关系的已知定律解释它们的总体行为。这是在理解恒星如何通过核聚变获得能量的道路上迈出的关键一步。他撰写的《恒星的内部结构》一书在1926年出版，而且成为了经典著作。

1930年代，爱丁顿徒劳地走进了试图把相对论和量子理论统一起来的死胡同，在天体物理学方面再也没有新的重要贡献。他强烈反对我们现在称之为黑洞的概念，当众嘲笑萨布拉曼扬·昌德拉塞卡关于一颗恒星质量超过一定限度时必将在临死时无限坍缩的见解。但是，瑕不掩瑜，正是昌德拉塞卡自己对爱丁顿突出的科学生涯做出了

最高评价：他是'他那个时代最卓越的天体物理学家'。爱丁顿逝世于1944年11月22日。

Eddington limit **爱丁顿极限**，对一颗特定质量恒星的最大亮度规定的极限。恒星由引力维持，引力则决定于质量；恒星内部核聚变释放的能量，以其辐射压抵消向内的引力而防止恒星坍缩。如果一颗恒星的亮度超过爱丁顿极限，辐射压将大到足以将恒星爆炸成碎块。

effective temperature **有效温度**，对一个恒星这样的天体来说，有效温度就是具有与该天体相同半径[①]和相同总光度的黑体的温度。

Effelsberg telescope **埃费斯伯格望远镜**，德国波恩西南40公里处一台直径100米的可动抛物面射电望远镜。它由马克斯·普朗克射电天文研究所管理，是世界最大全动型射电望远镜之一。该望远镜也用于甚长基线干涉测量。

Einstein, Albert **爱因斯坦，阿尔伯特**（1879－1955），德国出生的物理学家，他提出了狭义相对论和广义相对论，并为量子理论的发展做出了重要贡献。

爱因斯坦于1879年3月14日出生在德国乌尔姆镇，不久即随家人迁往慕尼黑，并在那里上学。他的学习成绩并不突出，在他的家庭于1894年迁居意大利之后（他的父亲是一个不成功的商人，反复搬家希图获得成功），爱因斯坦未完成学业即退学在家，参观意大利各类艺术中心达数月之久。1895年报考苏黎世的瑞士联邦技术大学（ETH）失败，他不得不在一所瑞士中学打发一年时光，1896年再度报考被录取。

在ETH期间，爱因斯坦不操心他感觉枯燥的课程，过着典型的大学生生活。1900年结业考试到来时，他用他的朋友马塞尔·格罗斯曼（Marcel Grossman）保存完好的笔记，临时抱佛脚下苦工夫，弥补了他学习上的不足，这位朋友不像爱因斯坦，他是从不旷课的。

虽然爱因斯坦考试不错，但部分由于他的懒惰名声，而没有得到ETH或其他任何大学的职务。他在中学短期执教后，1902年在伯尔尼瑞士专利局谋得一份低级差事。这份工作的收入使他得以和第一任妻子米列娃（Mileva）结婚（这对夫妇已经有了一个被人领养的私生女），并有足够的工余时间继续他的理论物理学研究。爱因斯坦就是在任专利局办事员的同时，于1905年完成了他的博士学业，同年发表了三篇优异的科学论文：一篇论述

① 原文漏掉了'相同半径'。——译注

狭义相对论；另一篇用光量子（后来称为光子）解释光电效应，第三篇解释空气或液体中的尘埃微粒在原子碰撞下的行为（布朗运动）。

狭义相对论的重要意义，直到1908年赫尔曼·闵可夫斯基用四维时空几何学概念对它进行说明之后，才为人充分认识。大概因为这，爱因斯坦于次年的1909年离开专利局到苏黎世大学担任教授。

以后几年，爱因斯坦在苏黎世和布拉格工作，然后于1914年到柏林的威廉皇家研究院任职。在那里，他完成了他的广义相对论。他的理论预言在1919年由亚瑟·爱丁顿领导的日食观测队证实，这使他赢得了世界声誉。但他的诺贝尔奖（1922年授予，但实际上是推迟一年的1921年度奖）并不是奖励他的相对论研究，而是他多年前对光电效应的解释。



阿尔伯特·爱因斯坦（1879－1955）。

那是有关光子行为的研究，而且只是爱因斯坦在量子理论方面众多贡献之一；虽然他在晚年不同意大多数物理学家持有的对量子理论的哲学解释（哥本哈根学派的解释），但量子理论的许多重要见解（比如对激光的说明）仍然有赖于爱因斯坦的工作。

1920年代中叶以后，爱因斯坦的研究越来越偏离物理学的主流，因为他徒劳地力图建立把相对论和量子理论结合起来的统一场论。1933年希特勒在德国掌权后，他移居美国，就职于普林斯顿高级研究所，1940年入美国籍。虽然爱因斯坦是终生的和平主义者，但他同意用他的声望提请美国总统注意研制原子弹的可能性，但后来又参与废除核武器运动。1952年他拒绝让他出任以色列总统的机会。1955年4月18日逝世于普林斯顿。

对宇宙的现代描述完全以爱因斯坦引力理论，即广义相对论为基础；广义相对论的方程式说明了膨胀宇宙的演化，指出宇宙是在某个确定时刻诞生于大爆炸。

补充读物：罗纳德·克拉克著

《爱因斯坦：生平和时代》[26]；迈克尔·怀特和约翰·格里宾著《爱因斯坦：科学传记》[27]。

Einstein cross 爱因斯坦十字，一个遥远类星体的像被引力透镜效应分裂为四个光点，好像一个假想正方形的四个角，或正方形对角线构成的十字的端点。（见 176 页的照片）。

Einstein-de Sitter universe 爱因斯坦－德西特宇宙，见德西特。

Einstein ring 爱因斯坦环，阿尔伯特·爱因斯坦 1930 年代预言、但直到 1980 年代才观测到的引力透镜效应，该效应是，遥远点源（如类星体）发来的光或其他电磁辐射，被视线方向的中间天体（如星系）的引力扩散为天空上的一个环。

Einstein-Rosen bridge 爱因斯坦－罗森桥，见虫洞。

Einstein satellite（Einstein Observatory） 爱因斯坦卫星（爱因斯坦天文台），美国宇航局 1978 年发射的一颗在X射线频段研究宇宙的卫星，它将四台 X 射线望远镜载入轨道，运行两年多，证认了数千个以前不为人知的 X 射线源。

electric force 电力，见基本力。

electromagnetic force（electromagnetic interaction） 电磁力（电磁相互作用），见基本力。

electromagnetic radiation 电磁辐射，由一起运动并以光速在空间传播的电场和磁场的振动携带能量的一种辐射形式。电磁辐射产生于电荷的加速度——比如天线中电子的运动。

电场和磁场在空间一起运动时，它们的振动方向互相垂直。詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）在 19 世纪提出一组方程式，说明了变化的电场产生变化的磁场、变化的磁场产生变化的电场这样一种行为。方程组含有一个常数 c，代表波在真空中的传播速率。后来发现，这个常数准确等于光速，由此证明了光是电磁辐射的一种形式。电磁辐射也能在某些介质中以稍低于 c 的速率传播。

从 γ 射线到长波射电辐射的整个频谱，都能用赋予合适辐射波长的麦克斯韦方程式加以解释。量子理论还用叫做光子的粒子流来描述辐射；每个具有给定频率 f 的辐射量子（光子）携带 hf 个单位的能量，其中 h 是普朗克常数。γ 射线的能量最高，射电波的能量最低。

按照量子理论，光子的行为就像遵守玻色－爱因斯坦统计法的粒子（玻色子）。虽然我们凭日常经验很难理解某种事物竟同时表现出波和粒子两者的性质，但许多实验证明这正是量子世界的行为；只要觉得方便，物理学家可以随意用两者之一。例如，将光子看成玻色子‘气体’，就能完美地描述黑体辐

射。

electromagnetic spectrum 电磁波谱，见波谱。

electron 电子，基本粒子之一种，属于轻子族，其静止质量为9.1094×10^{-31}千克，带负电荷1.6022×10^{-19}库仑。电子无大小，是'点状'粒子。电子是构成原子的三种基本成分之一。

electron Volt（eV） 电子伏（eV），能量的单位，定义为一个电子加速通过1伏特电势差所获得的能量。1eV等于1.602×10^{-19}焦耳。由于质量和能量的关系由爱因斯坦公式$E=mc^2$所规定，所以能量除以c^2就换算成了质量。粒子物理学家常用电子伏表示基本粒子的质量，就是利用了爱因斯坦的质能相当性。1MeV等于一百万eV；1GeV等于10^9eV。用这种单位表示的一个质子的质量接近1GeV。

electroweak interaction 弱电相互作用，见基本力、大统一理论。

element 元素，完全由核内含有相同数量质子、因而有相同数量电子的原子构成的物质。原子的核可能含不同数量的中子，形成同一元素的不同的同位素。元素不可能在不打碎原子的情况下分解成更简单的物质。天然存在的元素有92种，其中包括氢、氦、氧、碳和氮。见宇宙丰度、核合成。

elementary particles 基本粒子，构成一切物质实体的基本成分；也指量子理论中有基本力的粒子。

严格地说，基本粒子是不能再分解为任何组成部分的粒子。在这一定义下，只有夸克和轻子两族基本粒子。但是，虽然质子和中子由夸克组成，这两类重子都不可能分解为它们的夸克成分，因为独立的夸克是不能存在的。所以，尽管质子和中子以及其他重子由夸克组成，它们常被看成是基本粒子。

直到19世纪末，原子一直被认为是物质的基本建筑砌块。后来，英国粒子物理学先驱、剑桥卡文迪什实验室的约瑟夫·约翰·汤姆孙（Joseph John Thomson，1856－1944），发现原子产生的一种辐射能够用原子自身分裂出来的带电微粒流来解释，现在知道这种带电微粒就是电子。

既然电子带负电荷，而原子呈电中性，很明显，原子内部必然有另外的带正电荷的粒子，以抵消电子的负电荷。20世纪初叶，工作于曼彻斯特的新西兰裔物理学家欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford，1871－1937）（后来继汤姆孙任卡文迪什实验室主任）证明，这一正电荷与原子的大部分质量一起，都集中在很小的中心核内。

起初人们认为，原子核是电子与荷正电的质子的混合物。到了1932年，也在卡文迪什实验室工

作的詹姆斯·查特威克（James Chadwick, 1891 - 1937）才发现了不带电的质量几乎与质子一样的中子。于是原子核被解释成由强核相互作用，或强力，维持在一起的质子和中子的集合。

那时，这三种粒子——电子、质子和中子——似乎是构成一切物质的仅有基本粒子，但宇宙线研究和粒子加速器中高能粒子束互相轰击的实验却表明，还存在其他类型‘亚原子’粒子；不过这些‘新’粒子是不稳定的，它们将迅速‘衰变’成其他粒子簇射，以我们熟悉的电子、质子和中子告终。

重要的是应该懂得，这些新粒子根本不是存在于粒子加速器中互相轰击的粒子（如质子）的‘内部’；它们是从注入加速器的能量中，按照爱因斯坦的公式 $E = mc^2$（或者，在所讨论的情况下，更恰当的是 $m = E/c^2$）创造出来的。然而，在它们的短暂寿命期间，它们是具备质量和电荷等特征的真正粒子。这样的粒子，应该曾经在大爆炸的高能条件下大量出现。

物理学家不知道如何将这些粒子纳入一个圆满的物理理论，他们试图解释这些粒子之间基本力的作用方式。他们这样做时，仿效光子携有带电粒子之间的电磁力，想借助另一类携带着力的粒子——介子。但介子又是用什么东西制造的呢？

有一段时期，局面极其混乱。但 1960 和 1970 年代发展的夸克理论使局面趋于明朗。夸克理论认为，所有已知粒子可以分成两族。一族由夸克组成，能够‘感知’只在夸克之间起作用的强力，叫做强子。另一族叫做轻子，它们不能感知强力，但参与以所谓的弱力做媒介的相互作用（或称弱相互作用），比如，放射衰变（包括β衰变）过程就是弱相互作用引起的。强子既能参与强相互作用，也能感知弱力。

轻子是名副其实的基本粒子，它们不由任何别的东西构成。典范的轻子就是电子，电子与另一种叫做中微子（严格说应是电子中微子）的轻子相伴生。当电子参与放射衰变这类过程时，总有中微子卷入。

由于一些无人知晓的原因，这一基本图像已经复制了两次，产生了三‘代’轻子。除电子本身外，还有比较重的叫做 μ 介子，它们除了比电子重 207 倍外，完全像是电子；还有一种甚至更重的粒子叫做 τ 粒子，它的质量接近质子的两倍。这两种重电子各有其自己的中微子，所以轻子族有六种（三对）粒子。虽然 μ 介子和 τ 粒子都能在粒子加速器中用能量制造或从宇宙线产生，但它们很快衰变，转化成

电子或中微子。

强子族本身又再分为两类。由三个夸克构成的粒子叫做重子，就是我们常说的‘物质’粒子，包括质子和中子（重子和轻子都是费密子族的成员，费密子实际上是普通物质粒子的别称）。由成对的夸克构成的粒子叫做介子，它们是携带基本力的粒子，尽管还有其他的介子（这些力的载体和其他介子又称为玻色子）。

只需要两种夸克（它们的名字很怪，叫做‘上’夸克和‘下’夸克）就能解释质子和中子的结构。一个质子由通过强力维持在一起的两个上夸克和一个下夸克构成，而一个中子由通过强力维持在一起的两个下夸克和一个上夸克构成。强力本身可视为胶子的交换，而胶子本身又由夸克对组成，因而是介子。

正如轻子族复制了三代，夸克族也如此。虽然只需要两种夸克来解释质子和中子的本质，但复制的两代夸克却一代比一代重，其中一代叫做‘奇’夸克和‘粲’夸克，最重的一代叫做‘底’夸克和‘顶’夸克。和重轻子一样，这些粒子能够在高能实验中产生（因而大爆炸时必定大量存在过），但迅速衰变成它们的较轻对应物。虽然不可能分离出单个夸克，但粒子加速器实验已经提供了夸克族所有这六个成员存在的直接证据；最后一种（顶）夸克是芝加哥费密实验室的科学家于 1994 年找到的。

对夸克的质量和其他性质的研究表明，不可能有更多代的夸克，只能有三族夸克和三族轻子。幸而标准大爆炸模型也认为不可能存在多于三代的粒子；不然的话，极早期宇宙中额外中微子造成的压力应该驱动宇宙过快地膨胀，从而使留存下来的氦含量与极年老恒星的观测结果不符（见 αβγ 理论、核合成）。这是最美妙的证据之一，表明粒子物理学和宇宙学两者的标准模型对宇宙行为的描述，都同基本真理相去不远。

但是，除了大爆炸的最早片刻之外，第二和第三代粒子在宇宙的演化或其内容物的行为中基本不起作用。我们在宇宙中看到的每样东西都能用两种夸克（上和下）和两种轻子（电子和电子中微子）加以说明；确实，由于单个的夸克不能独立存在，我们看到的每样东西的行为，仍然能够用 1932 年就已经知道的电子、中子和质子再加上电子中微子，以及四种基本力，相当准确地予以近似说明。

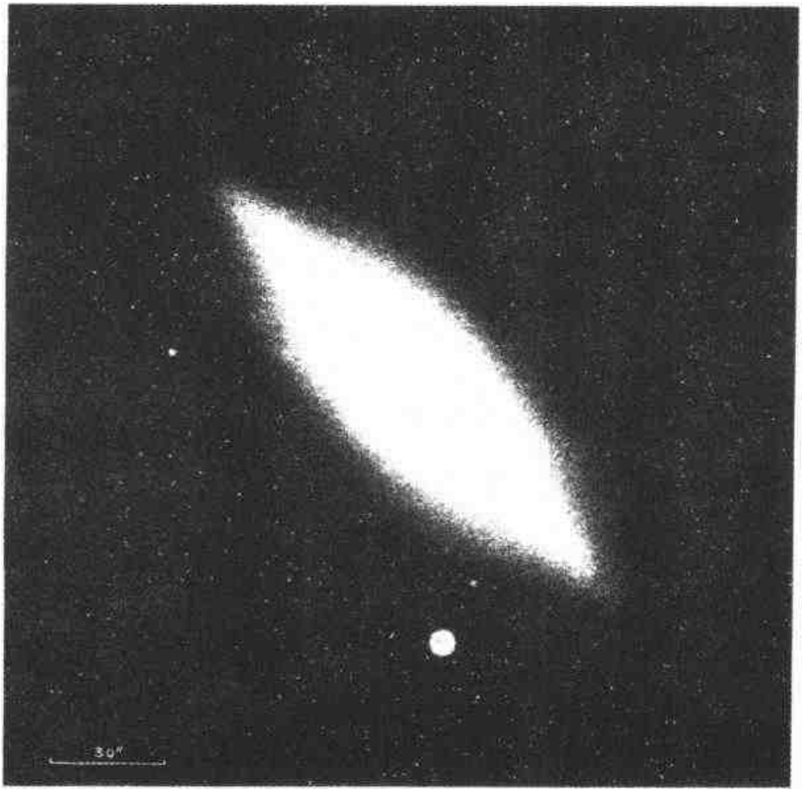
但宇宙中的东西大概比我们看到的要多；观测和理论两方面都有理由认为，宇宙中的暗物质比亮物质要多得多。暗物质的很大部分可能是既非强子、亦非轻子的粒子。

不过这是另外的话题了。

补充读物：弗兰克·克洛斯著《宇宙洋葱》[28]；约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]。

elliptical galaxy 椭圆星系，看起来像天空中一个椭圆或圆形光斑、周围没有恒星盘迹象的星系。以前以为它们的外形像美国橄榄球，但对这些星系中恒星轨道速率的研究（利用光谱学和多普勒效应）证明，椭球（三维椭球）的全部三个轴一般都有不同的长度。

椭圆星系主要由年老的红色恒星组成；虽然这些恒星之间确实有不少尘埃和气体，但在这些星系中今天已很少看到活跃的恒星形成迹



椭圆星系。典型的椭圆（透镜状）星系，1911年圣诞节用美国威尔逊山天文台的60英寸望远镜拍摄。

象。由于这，椭圆星系曾被认为是最年老的星系，而且从宇宙生命早期以来就基本上没有变化；但是较新的研究表明，许多椭圆星系（也许所有大椭圆星系）是盘状星系相互碰撞、合并而成的（见星系形成和演化）。星暴星系大概正处在这一过程之中。

椭圆星系的质量范围从矮椭圆星系的大约 100 万太阳质量（与我们银河系的球状星团相似）到巨椭圆星系（已知最大的星系）的多达 10^{12}太阳质量。考虑到很多矮椭圆星系因距离远而无法看见，椭圆星系占全部星系的大约 60%。椭圆星系是星系团的最普通成员，而且富星系团的中心位置通常是一个占引力支配地位的大质量椭圆星系。最强的射电源都与大椭圆星系相联系，这表明在它们的核心部位可能隐藏了黑洞。

emission line　发射线，波谱中与确定波长电磁辐射的发射相对应的狭窄特征。波谱中的发射线图样相当于产生了该辐射的元素的证认指纹。

emission nebula　发射星云，发光的太空气体尘埃云。在大多数情况下，星云发光与猎户座星云一样，是由于被附近一颗或多颗年轻热星的辐射加热。另见行星状星云。

Empedocles　恩培多克勒（约公元前 490 – 430），希腊哲学家，是任何东西均由火、空气、水和土四种‘元素’构成这一思想的早期支持者之一。

energy　能量，人人知道能量是什么，但大多数定义似乎是在兜圈子。对科学家来说，能量是一个系统‘做功’的能力的量度，这实际上意味着在另外某个系统中引起变化。能量的最重要性质是，它既不能创造，也不能消灭（在按照爱因斯坦公式 $E = mc^2$ 把质量当成能量的一种形式的条件下）。它只能转化为另一种能量形式。

以日常汽车旅行为例，出发时能量以化学能形式储存在燃料箱中，当燃料在发动机汽缸中爆炸燃烧驱动活塞，活塞又驱动车轮而使汽车运动时，这一能量就被释放出去‘做功’。这时，对于运动的汽车，能量的形式是动能。汽车停下来时，动能又变成了刹车装置中的热能（温度低于发动机燃料燃烧的温度）和汽车所有运动部件的摩擦热能。这一低级热能不能再用来做功（见时间之箭）。

在今天的宇宙中，引力能和动能之间的交易最为重要。从你手中落下的一块石头，在它下落时损失引力能而获得动能；一枚向上运动的火箭，在它升到更高时用化学能换回了动能和引力能，而如果它携带的燃料不够，就无法达到逃逸速度。动能和引力能之间的交易，决定了行星和恒星在其轨道上的运动

状态，也决定了引力是否能把星系、星系团和宇宙本身维系在一起（见宇宙的命运）。

电磁辐射，如阳光，也是能量的一种形式。确实，储存在你汽车油箱中的能量，追根溯源是来自植物通过光合作用捕获的太阳光。在宇宙的极早期，是辐射能和质量能之间的交换，决定了形成第一代恒星的物质粒子的数量和种类（主要是氢和氦的原子核）。

epicycle **本轮**，行星的轨道可以单纯用一些圆来描绘，这时行星沿一个叫做本轮的小圆运动，本轮的中心又沿一个圆绕地球或太阳运动（必要的话，这种把戏还能推而广之，让本轮自身又沿着本轮运动）。但这个方法已经过时了，因为开普勒证明，把行星轨道描述成以太阳位于其一个焦点的椭圆更加简单而准确。

Epsilon Aurigae **御夫座 ε**，1821 年起即被人研究并成了天体物理试验台的一颗食双星，位于御夫座，离我们约 600 秒差距。该双星系统的轨道周期等于 9,892 天（超过 27 年），由一颗质量约 15 倍于太阳的 F 型超巨星和一颗质量相仿体积很大的暗伴星组成，后者大概是周围有物质盘的 B 型主序星。每次食持续约 610 天。

equinox **二分点**，从地球轨道上看太阳穿过天赤道的时刻，这时地球上任何地方的昼夜长度相等。春分发生在 3 月 21 日；秋分发生在 9 月 23 日（这是北半球沙文主义天文学家起的名字；南半球的季节应该颠倒过来）。

equipotential surfaces **等势面**，引力场具有的一种与等高线相当的性质。等高线是地球表面上高度相等的线；等势面是引力强度为常数的‘假想’面（事实上，这意味着等高线也能描述为‘等势线’，因为一根等高线上的地球引力强度确实处处相等）。

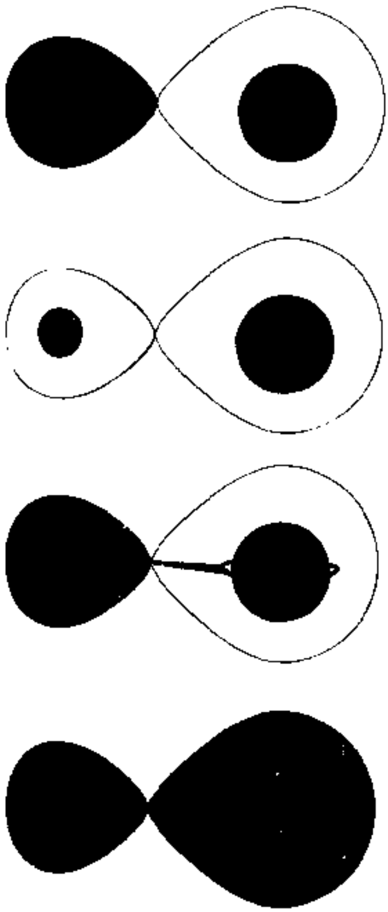
对于单个恒星，等势面就是围绕恒星的一系列同心球壳。但在密近双星系统中，两颗子星的引力场相互作用，使等势面变成了沙漏状。其中一个等势面叫做临界等势面，它由两个各围绕一颗子星并在两星之间某个点会合的瓣组成。这些瓣叫做洛希瓣；两瓣会合点叫做内拉格朗日点，它的准确位置决定于两子星的质量和彼此间的距离。

如果双星的两子星都在各自洛希瓣的内部，我们称它为不接系统。如果一颗子星膨胀到充满它的洛希瓣（见恒星演化），物质将通过内拉格朗日点逃逸并落到另一颗子星上，这样的双星系统叫做半接系统。落到另一子星上的物质流有可能形成一个吸积盘，引发各种各样的活动，包括矮新星爆发和X射线发射。如果两颗子星都充满各自

的洛希瓣，那就是相接双星，此时物质能穿过临界等势面逃向太空。

equivalence principle　等效原理，指加速度效应和均匀引力场效应不能区分。这一等效性产生于引力质量和惯性质量之间的等效，它导致阿尔伯特·爱因斯坦提出他的广义相对论；爱因斯坦领悟到一个从屋顶落下来的人不会感知引力效应——下落的加速度正好抵消了对重量的感觉。

按照现代术语，等效原理最好用一艘由火箭发动机不断推动在空间加速运动的太空船来说明。当发动机不点火时，太空船内的一切物体以自由下落状态漂浮着，就像从



等势面。四类双星和它们的洛希瓣。从上到下：

1) 半接双星：一颗子星充满洛希瓣；
2) 不接双星；
3) 半接双星：物质从充满洛希瓣的子星流向它的伴星；
4) 相接双星。

屋顶下落的人无重量一样。原则上，火箭的加速度可以调节，使得太空船内的所有物体感觉到一个正好同地球上的引力（或由你挑选的任何其他力）相等的力，这个力在飞船通过空间向前运动时将物体推向飞船的后端。在这个加速运动的参考系中进行的任何科学实验（例如研究钟摆的摆动，或球在地板上的滚动），都将得出与太空船固定在地面发射台上、因而根本没有加速时一样的结果。

有一点必须着重加以说明。加速度等效于均匀引力场。严格说，地球的引力场是不均匀的，因为它是从地球中心点向外扩散的。如果你被关闭在一个升降机中，在一个一直钻到地心的竖井中自由下落，那么通过仔细观察与你同乘升降机的任何两个物体（比如两个橘子），你将发现你并不是在空间自由下落。当你更接近地心时，两个橘子也将沿着会聚路径互相靠近。但在地球表面，引力和加速度的等效性是几近完美的。这就是为什么从来没有人因下落而受伤；仅当地面的阻挡使你的下落突然中止，你才会受到伤害。

Eratosthenes of Cyrene 厄拉多塞（昔兰尼人，约公元前 273 - 192），一位智者，曾任亚力山大的大图书馆馆长和托勒密三世之子的家庭教师。他首次足够精确地计算了地球的大小。他利用在不同地点同时测量的太阳地平高度，计算出地球周长约 29,000 英里，而现代值略小于 25,000 英里。见安那克萨哥拉。

EROS 厄罗斯［计划］，‘暗天体搜索实验’的法文‘Expérience de Recherche d'Objects Sombres’的首字母缩略词，是法国的一项通过研究欧洲南方天文台用施密特照相机拍摄的很大部分南天照片，和用电荷耦合器件得到的大麦哲伦云稠密中心区图像，这样两种手段探寻 MACHO 的计划。

escape velocity 逃逸速度，一个物体得以逃离一颗行星或恒星，即既不掉回到它们的表面，也不进入绕它们的封闭轨道，所需要的最低速率。一个如地球的天体表面上的逃逸速度只决定于该天体的质量和大小，所以不管是超人垂直向上抛出的石头，或是从卡纳维拉尔角发射的火箭，它们的逃逸速度是相同的（对地球而言是 11.2 公里每秒）。在环绕地球或太阳或其他大质量天体轨道上的一个物体，只要它的速率获得足够的提升，就能够逃脱。在与质量 m 的中心相距 r 的任何地方，逃逸速度都等于 $2Gm/r$ 的平方根，这里的 G 是引力常数。

如果把 r 看成是大质量天体的半径，则上述公式给出从它表面的逃逸速度。虽然很大的天体，如木星和太阳，含有比地球多得多的质

量，而且总的说来引力场也较强，但它们的质量所占的体积较大，因而木星和太阳的表面离它们的中心就比地球表面离地心更远。引力随着离大质量天体中心的距离而减小，这就减弱了大质量天体表面上的引力强度，因而半径增大会降低逃逸速度（因为公式含有 $1/r$）。另一方面，质量增加将提高逃逸速度。假设密度大致均匀，则质量（公式中的 m）大致正比于天体的体积。但由于体积正比于半径的立方，所以总效果就是密度相同大小不等的天体的逃逸速度正比于半径。

半径和质量两者的效果部分抵消后（再考虑到密度的不同），月球表面的逃逸速度是 2.4 公里每秒，木星表面的逃逸速度是 61.1 公里每秒，太阳表面的逃逸速度是 624 公里每秒——只有光速的 0.2%。由于表面逃逸速度正比于半径而增加，要使逃逸速度大于光速，你将需要一个密度与太阳相同但直径比太阳大 500 倍的天体，这是一个大小与太阳系相仿的黑洞。

但是，如果你能把一个原有的大质量天体挤压得更小，它的表面将更接近中心，即使质量保持不变，其逃逸速度也将增加。对于太阳，如果能把它压缩成半径仅仅 2.9 公里（太阳的史瓦西半径）的球，其逃逸速度将超过光速，太阳也就成了黑洞。这个黑洞的半径不是太阳现在半径的1/500，而是 500 的平方分之一，或 0.000004。

ether 以太，过去认为光和其他电磁辐射传播时必须通过的假想介质，就像声波在空气中传播一样。詹姆斯·克拉克·麦克斯韦推导的方程式证明根本用不着以太，因为电磁波是自己独立传播的；但直到旨在探测地球通过以太运动的迈克耳孙－莫雷实验以失败告终，以及狭义相对论成功地解释了光的行为之后，以太概念才最终被放弃。

Euclid 欧几里得，生活在公元前 300 年前后的希腊数学家。生平不详，而且看来他并未对数学做出创造性贡献，人们记得他是因为他在十三卷鸿篇巨著《几何原本》中，收集并条理分明地、系统地记载了当时数学方面的全部知识。

Euclidean geometry 欧几里得几何[学]，就是你在中学学习的那种几何学，诸如一个三角形的三个角相加总是等于 180°，平行线永远相隔同一距离，等等。这个几何学体系不是欧几里得发明（或发现）的，但他收集了当时（约公元前 300 年）的知识并全部记载下来。他的著作译成阿拉伯文，又从阿拉伯文译成拉丁文，历经欧洲数百年动乱得以幸存，成为数学及当时其他科学发展的典范。直到 20 世纪的今天，欧几里得几何学始终是很多地方中

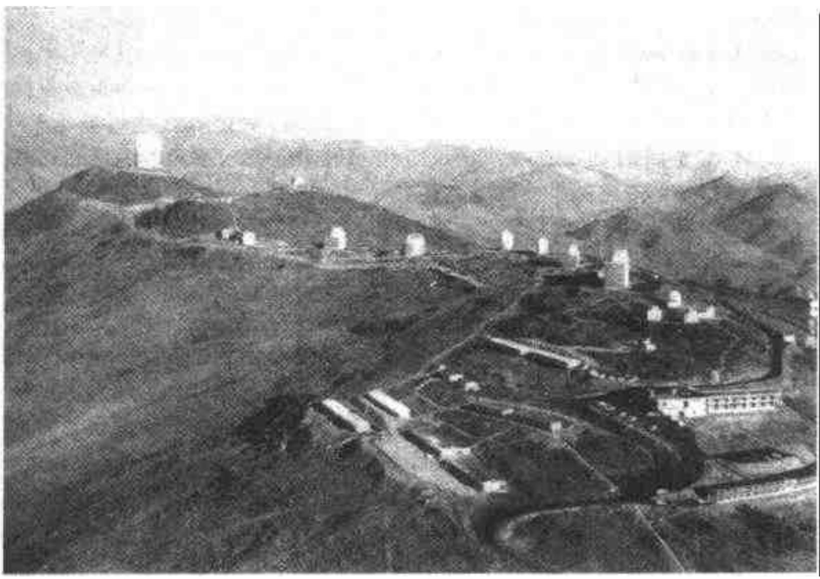
学数学课程的基础。

欧几里得几何学并非不正确，但它的应用有限。严格说来，它只适用于一张平铺的纸那样的平面。比如，球面上（或地球表面上）的三角形的三个角相加大于180°，而且三角形越大，三个角之和也越大。但欧几里得几何学可以推广到三维或多维，来描述普通三维空间（仿效平面称之为'平坦'空间）或狭义相对论的四维平坦时空中的各种关系。

要描述广义相对论框架下的弯曲时空，就需要用非欧几何学。即使这样，当描述的时空范围很小而能忽略它的弯曲时，欧几里得几何学仍然有用（见短程线）。

Europa 木卫二，木星的四个大卫星之一。其直径为3,138公里，比我们的月球小；密度2.97克每立方厘米，接近水密度的3倍。被认为由一个岩质内核和外面的厚冰层组成。

European Southern Observatory（ESO） 欧洲南方天文台（ESO），八个欧洲国家合作在智利拉塞雷纳附近的拉西亚设立的一座天文台，它的两个主要望远镜的孔径为3.5



欧洲南方天文台（ESO）。建在智利的拉西亚，最高的观测室中安装有3.6米反射望远镜。

米和3.6米。该台位于海拔2,400米、气候干燥天空晴朗的地区。

European Space Agency (ESA) 欧洲空间局 (ESA)，十二个欧洲国家在研制科学和商用卫星的所有方面进行合作的机构，它在荷兰的诺德威克、德国的达姆施塔特和意大利的福拉斯卡迪设有中心，在法属圭亚那的库鲁拥有发射场。欧洲空间局的卫星用阿丽亚娜火箭发射。

evening star 昏星，见金星。

event horizon 视界，黑洞周围的一个假想表面，在该表面上的逃逸速度等于光速。在视界里面，逃逸速度大于光速。由于没有东西能比光传播得更快，所以视界内的一切东西（甚至包括光）都不能穿过该表面逃入外边的宇宙，这就是黑洞名称的由来。但没有东西防止外部宇宙的物质或辐射通过视界进人黑洞；视界不是墙壁那样的实体障碍。

如果黑洞不自转，视界就是一个球面，其半径等于该黑洞的史瓦西半径，中心位于该黑洞中心处的奇点。如果黑洞自转，则视界变形，其‘赤道’区因自转而向外凸出。

exclusion principle 不相容原理，见泡利不相容原理。

exobiology 地外生物学，迄今有关宇宙中地球这颗行星以外任何其他地方可能存在的生物种类的纯理论研究。没有专职的地外生物学家，但很多学科的科学家都涉足过这一领域。

地外生物学的一个流派专心研究在类似地球的行星上出现以与我们人类相同的化学成分（见CHON）为基础的生命形态的可能性（见德拉克公式）。尽管这种研究很大程度上依靠推测，但我们人类由宇宙中最普通元素构成这一事实，和我们银河系中存在大量类似地球的行星这一乐观前景，使它成了倍受尊重的科学分支。

另一些地外生物学家则多半依靠科学幻想（其中有些人确实为科幻作家提供如何‘创造’外星人的意见，有些人则创作自己的科幻小说）。他们指出，生命得以存在的惟一根本要求是有可以（暂时）加以利用以绕过热力学第二定律（见时间之箭）的能源。如果这种看法正确，那么原则上生命可以存在于宇宙的任何地方，它们既可以取太空中以微弱星光为食的稀薄物质云形态，也可能是中子星表面上以强磁场充饥的微小而致密的东西。

另见宇宙中的生命；科学家就有关概念用小说体裁创作的作品中，值得一读的有弗雷德·霍伊尔的《黑云》[29]和罗伯特·福瓦德 (Robert Forward) 的《龙蛋》[30]。

EXOSAT 埃克索萨特［卫星］，欧洲空间局1983年发射的一颗X射

线天文卫星。该卫星重 400 千克，三年寿命期间进行了大量观测，包括对双星、超新星遗迹、爆发体和活动星系的研究。

expanding Universe 膨胀宇宙，我们生活其中的宇宙因星系团之间空间的伸展而膨胀。这是 1916 年广义相对论方程式所预言的，但甚至阿尔伯特·爱因斯坦一开始也不接受它。是埃德温·哈勃及其同事 1920 年代末发现本星系群以外星系的红移，才使天文学家认识到宇宙正在膨胀，并承认广义相对论是对宇宙总体行为的准确描述。

因为星系团正在互相分离，它们过去一定曾经彼此靠得比较近。在足够久远的过去，它们一定曾经互相堆积在一起。这就是宇宙大爆炸模型的依据。

但是，膨胀宇宙的关键特征是，膨胀并非像炸弹碎片从爆炸点向四周飞散那样由星系在空间穿行所引起。是空间本身在膨胀，并带着星系一起兜风。

虽然我们的宇宙在膨胀这一点已无可怀疑，但甚至在广义相对论框架内也有好几个不同的模型，它们描述的膨胀宇宙彼此各异。现在还不清楚哪个模型能最好地描述我们的宇宙，所以宇宙起源于大爆炸虽然得到确认，其最终命运则仍然是未知的谜（见宇宙的命运、宇宙模型）。

extraterrestrial life 地外生命，见宇宙中的生命。

Extreme Ultraviolet Explorer（EUVE） 极紫外探险者（EUVE），美国宇航局 1992 年发射的一颗卫星，用于在电磁波谱极紫外区 7～76 纳米波长范围研究宇宙。这一波长范围靠近 X 射线频段，特别适合于研究白矮星、激变变星和星际物质。

F

Faber-Jackson relation 费伯-杰克逊关系，对椭圆星系的光度进行估计的一种方法，而通过光度与视亮度的比较即可得出距离。

天文学家无时不在寻找新方法来估计宇宙间的各种距离，从而增进他们对宇宙距离尺度的了解。1976 年，美国学者费伯（S.M. Faber）和杰克逊（R.E. Jackson）发现，椭圆星系的亮度和其中恒星的速度弥散度（用多普勒效应测出）之间，看来存在某种关系。

他们发现的关系是这种星系中不同形式能量互相转换的有力例证。亮度高于平均值的星系含有较多的恒星（所以它们比较亮），因而有较大的质量，所以它们拥有较多的引力能。结果，它们能够维系住动能大于平均值、也就是速度较高的恒星。因此，测量的速度弥散度越大，星系必然越亮。

这个关系借助距离已经用其他方法测定了的星系来定标，然后再用于估计其他星系的距离。这样估计的距离不很精确，但很有用，尤其适用于一部分星系的距离可用其他方法测定的星系团（见塔利-费希尔方法）。用这个方法估计的一个十分重要的星系团——室女座星系团的距离大约是 1,500 万秒差距。

fate of the Universe 宇宙的命运，见宇宙模型。

Fermi, Enrico 费密，恩里科（1901-54），意大利裔物理学家，对放射性做过开创性的研究，而最出名的是领导建成了第一座核反应堆（1942 年的时候叫做‘原子堆’）。在天文学方面他声称，地球尚未沦为外星人殖民地这个事实，‘证明’我们是银河系里的惟一文明。见费密佯谬。

fermions 费密子，在粒子相互作用中守恒、并遵守 1920 年代由恩里科·费密（1901-54）和保罗·狄拉克（1902-84）提出的‘费密-狄拉克统计法’规则的基本粒子。典型的费密子是电子。电子永远不会在粒子相互作用中单独地被创造或被消灭；如果产生了一个电子（例如在β衰变中），就必定有一个对应的反粒子相伴而生。所以宇宙中的费密子总数永远相同，并且由大爆炸时的条件决定。

费密子就是我们最熟悉的粒子——构成‘实在物质’的电子、质子和中子，以及一些在粒子加速器的高能相互作用过程或高能天体

中产生的比较奇异的不稳定粒子。

然而，甚至这些粒子也能用波来描述。这是量子世界波粒二象性的一个例子，它表明质子或电子等实体的性质既能用波，也能用粒子加以说明。

用量子物理学的术语来说，费密子的关键特征是它们的自旋。所有费密子具有'半奇数'的自旋—— 1/2、3/2、5/2，等等。这有点像小孩玩的陀螺的旋转——但又不完全像小孩玩的陀螺的旋转，因为一个比如电子那样的粒子必须'自转'两次才能回到它的起始点。

见玻色子。

Fermi Paradox　费密佯谬，'如果他们存在，他们就应该在这里。'恩里科·费密用这句话来'证明'银河系里除我们自身外别无其他智能生物。虽然费密广为宣传不存在其他智能生物的这种'太空旅行论据'，但至少在17世纪就已有不少人用这个论据来证明月球上没有智能生物。

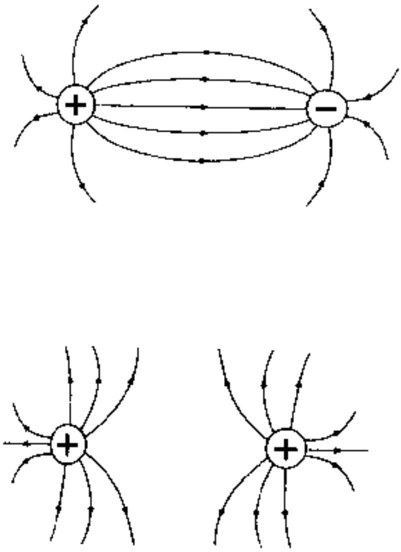
这一论据的要点是，任何发展到我们当前文明水平的智能生物，将在几百年内研制出技术性能足以让他们向整个银河系扩张的火箭，他们可以亲自驾驶火箭，也可以派遣电脑化的机器人系统为他们探险。

机器人太空探测器将是便宜而有效的探险手段，因为抵达一个'新'行星系的机器人能够使用彗星和小行星带的原料制造新探测器（自己的复制品），并把它们派去勘探其他行星系。只要所掌握的电脑和火箭比我们今天拥有的稍稍精巧些，即使速度达不到光速，任何智能生物也将能在大约不到3亿年的时间内踏遍整个银河系。我们太阳系已经存在近50亿年了，而整个银河系的年龄至少是它的两倍。所以——'如果他们存在，他们就应该在这里'。

这实际上不是佯谬，而是一种见解；它不值一驳，比如我们可以反问：有哪一处的智能生物想到要去看看所有的行星呢？或者，他们是否想让我们知道他们正在窥视我们呢？见德拉克公式。

field equations/field theory　场方程式/场论，作为力在空间的传递手段的场概念发端于19世纪迈克尔·法拉第（Michael Faraday）对电的研究。中学物理课程教给我们的法拉第'力线'可以看成从宇宙中每个带电粒子伸出来的数学线，每根力线从一个某种风味（正或负）的电荷出发，到一个相反（负或正）的电荷结束。许多力线一起在带电粒子周围形成一个力场，其性质可用场方程式予以数学说明。

力线像绷紧的橡皮筋那样趋向于将相反电荷拉拢到一起；但同类电荷之间成束的力线则像压缩的弹



力线。力线概念（在本例中，总是从正电荷出发指向负电荷）有助于解释何以相反电荷互相吸引而相同电荷互相排斥。

性块那样趋向于将它们推开。

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦将这一概念精心发展成最早的描述电、磁和电磁辐射的场论。麦克斯韦方程式描述的场是平滑连续的‘经典’场，它的力线之间没有空隙，力线本身也无断裂。广义相对论也是一种用同一方式描述引力的经典场论。

现代的场论是量子场论，它认为能量只能以分立的小份额出现，叫做量子。光子是电磁场的量子。电子这样的粒子可用充满整个宇宙（物质场）的波的相应场方程式描述，而粒子（如电子）则是量子场的小小能量份额。

将量子法则应用于电子（或其他粒子）一次，相当于用物质场进行描述；将量子法则再应用一次（‘二次量子化’），则回复到将粒子作为小份额质能的概念。在量子场论看来，宇宙中除了量子化的各种量子场外没有别的东西，而每种量子场各由其合适的场方程式描述。

fifth force　第五种力，见基本力。

first three minutes　最初三分钟，见大爆炸。

Fisher-Tully relation　费希尔－塔利关系，见塔利－费希尔方法。

fission and fusion　裂变和聚变，一个重原子核分裂成两个或更多碎片（裂变）和几个轻原子核结合在一起（聚变）并伴随能量释放的过程。

裂变和聚变两者都释放能量，是因为原子核中单个核子能量为最小的元素，其每个核中的质子数碰巧处在稳定范围中点附近。它对应的核是含有 56 个核子（26 个质子和 30 个中子）的铁－56。一切自然系统都‘喜欢’呆在最小能量状态下（就像水往低处流），所以使原子核向铁－56 靠近的核反应要比使原子核远离铁－56 的核反应更容易发生。

你可以把这想像成一个稳定性的谷，它一边坡上是轻元素，另一边坡上是重元素，谷底则是铁。每个元素站在两边坡的一个小岩架上。一边坡上的氢（在'谷'顶，它的核只有一个质子）可以通过聚变形成氦（两个质子和两个中子），并朝下方的谷底跳一级，其他元素也可以在恒星内部通过进一步的聚变相继生成。在谷的另一边坡上，有些（最初由超新星产生的）重元素自发分裂，向谷底跳几级以形成较轻的元素。对其他一些重元素（或相同的放射性元素），重的核在与能量合适的自由中子碰撞时发生感应分裂。

由于裂变通常释放两到三个附加中子，所以像铀–235（它的每个核含有 92 个质子和 143 个中子）这样的元素可以用来引发链式反应，即一个核的裂变触发另一个或更多核的裂变，等等。

另见核合成。

Fitzgerald, George Francis 菲茨杰拉德，乔治·弗兰西斯（1851–1901），爱尔兰物理学家，以提出运动物体在其运动方向变短（菲茨杰拉德收缩）的观点而最为出名。见狭义相对论、洛伦兹。

Fitzgerald contraction 菲茨杰拉德收缩，运动物体在其运动方向的收缩。它最初是爱尔兰物理学家乔治·菲茨杰拉德为解释迈克耳孙–莫雷实验的失败而提出来的，该实验旨在测量不论光如何相对于地球运动都预期会发生的光速的变化。菲茨杰拉德认为，实验的失败可能是由于整个实验设备以及地球本身在运动方向收缩的缘故。这种收缩使人错以为光速不变。

两年以后，亨德里克·洛伦兹（Hendrik Lorentz）独立提出同样的概念；但不公平的是，人们无视菲茨杰拉德不论按姓氏字母还是在历史上都占先的事实，有时称它为洛伦兹–菲茨杰拉德收缩。但是，菲茨杰拉德和洛伦兹都设想存在某个由叫做'以太'的假想物质定义的绝对'参考系'，并认为地球在以太中运动。光则被想像为以太中的波，类似海洋中的波浪。他们认为，正是相对于以太的运动引起了菲茨杰拉德收缩。

20 世纪初，阿尔伯特·爱因斯坦用他的狭义相对论证明，既不存在特殊的参考系，也不需要以太。菲茨杰拉德收缩可在任何相对运动中发生，任何观察者（他有资格声称他们处于静止状态）都能测量任何相对于观察者运动的物体的这种收缩。虽然收缩的影响仅当运动速率达到光速的显著部分时才能探测到，但已经在涉及高速粒子的许多实验中得到证实。

另见洛伦兹变换公式。

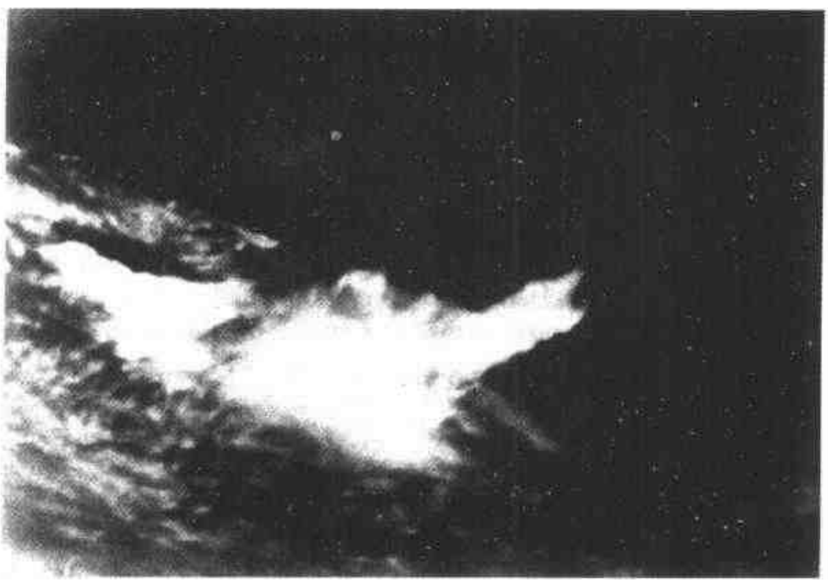
fixed stars 恒星，参照游动的

星——行星——而言被认为在天空恒定不动的星的总称。18 世纪初叶测量了首批恒星的自行后，就已经知道这个名称不正确，但仍沿用至今。

Flamsteed, John 弗兰斯提德，约翰（1646 – 1719），英国天文学家，1675 年成为首任皇家天文官。格林尼治皇家天文台就是为弗兰斯提德编制（对航海至关重要的）精确天文表而建立的，其成果是一部测量精度达 10 角秒的 3,000 颗恒星位置表，该表于弗兰斯提德逝世六年后出版。

flares 耀斑，太阳表面上小区域的突然增亮。这种闪耀式增亮历时数分钟，然后在大约一小时内消失。耀斑除了以光和其他电磁辐射形式释放能量外，还发出质子和电子等形成的粒子流，其中一些穿过太空抵达地球，与地球大气的带电高层相互作用，可能破坏无线电通讯。这些粒子（太阳风的一部分）还可能影响人造卫星轨道，危害正在太空中的宇航员的健康。耀斑产生的带电粒子抵达地球时也引起夸示长空的明亮极光（北极光和南极光）。

耀斑活动与太阳的磁场有关，并随太阳活动周的进程而变化；日面上出现较多太阳黑子时，耀斑的



耀斑、太阳表面的耀斑，物质从活动区被喷入太空。

发生就频繁得多。有迹象表明耀斑对地球上的天气有影响；可惜资料还不是结论性的，大多数气象学家对此类迹象的价值持谨慎态度。

flatness parameter 平［坦］性参数，见密度参数。

flatness problem 平［坦］性问题，指宇宙的时空非常接近欧几里得时空①，致使宇宙正好处在永远膨胀和终将再坍缩两者之间的分界线上这样一个难题。平坦性问题可用暴涨模型加以解决。另见宇宙模型。

forces of nature 自然力，见基本力。

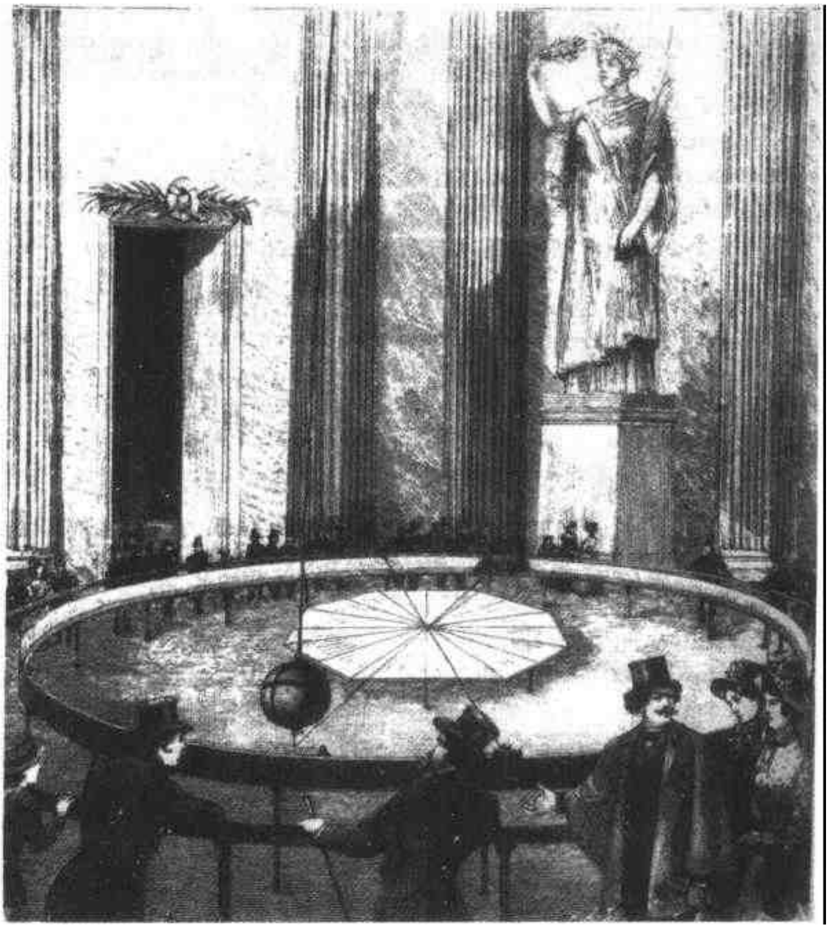
Foucault's pendulum 傅科摆，任何能够自由摆动以展示地球自转的长摆。法国物理学家让·傅科（Jean Foucault）于1851年最早做了这种展示，他还进行过许多光学方面的实验，并在实验室中首次精确测定了光速。他正是在研制光学实验用的精密守时装置时，注意到当转动挂着一个摆的器械时，摆竟然维持在同一个平面内摆动。他领悟到摆动的这种固执特性，将使摆在地球自转时保持在同一平面内摆动，看起来就好像是摆动的平面在相对于地面缓慢地转动。

在地球两极，傅科摆在24小时内转动一周，或每小时转动15度。在赤道上则没有转动效应。在赤道和两极之间的中间纬度上，转动速率也取中间值。除了展示地球的自转外，傅科摆还能用于确定你所在的纬度。摆实际上是维持在相对于恒星的同一平面内摆动——惯性的一个例证，也展现了马赫原理所述难题的本质。（见141页的图。）

Fowler, William Alfred（'Willy'）
福勒，威廉·阿尔弗雷德（'威利'）
（1911－95），美国物理学家，对认识元素如何在恒星内部（核合成）和大爆炸中加工出来做出了重要贡献。

福勒于1911年8月9日出生在宾夕法尼亚州的匹兹堡，1933年毕业于俄亥俄州立大学。他在1936年获得加州理工学院博士学位后，终其一生都在加州的实验室中（利用粒子加速器）研究在恒星内部起重要作用的核聚变反应究竟有哪些（战争时期在华盛顿和其他地方的工作除外）。他测量了汉斯·贝特提出的碳循环和质子－质子反应中各种反应的实际几率（叫做'截面'），1950年代与弗雷德·霍伊尔及杰弗利和玛格丽特·伯比奇协力，更全面地研究了恒星内部发生

① 作者在本书很多处提到平坦性问题时，都说是指宇宙的时空非常接近欧几里得时空，但严格地说，它应该是指宇宙在三维空间上非常接近欧几里得几何。——译注



傅科摆。1851年傅科用来展示地球自转的摆的现代版画。

的过程（见B²FH）。这项研究解释了比氦更重的所有元素如何能够在恒星内部加工出来。福勒后来改进了质子－质子反应的原始概念，将它表述为有时称为质子－质子三重链式反应的现代形式。

1960年代，福勒和霍伊尔及罗伯特·瓦格纳（Robert Wagoner）一道，对大爆炸中必然发生的核反应类型进行了类似研究，改进了乔

治·伽莫夫的开创性工作，证明在年老恒星中观测到的氦和其他极轻元素（比如氘）的数量正好与大爆炸应该产生的一样多。

虽然霍伊尔提出了恒星内部氦转变成碳的共振过程这一关键概念，是 B^2FH 和瓦格纳、福勒及霍伊尔两个研究班子的无可争辩的领导，但令天文界惊讶的是，因这项工作获得 1983 年度诺贝尔奖的却是福勒一个人。那时，福勒已经发表了 200 多篇科学论文，其中 25 篇（约 10%）是与霍伊尔共同署名的；尽管福勒肯定应当获得如此褒奖，不幸的是 1983 年的诺贝尔委员会却不认为应该把他们两人的名字放在一起。

当被问及获奖工作的重要性时，福勒说：'如果能够找到实际应用，那当然最好不过。但我们觉得，重要的是人类懂得了太阳光是从哪里来的'（见罗伯特·韦伯著《科学先驱：诺贝尔物理奖获得者》[31]）。福勒逝世于 1995 年 3 月 14 日，享年 83 岁。

frame of reference **参考系**，见惯性系。

Fraunhofer, Josef von **夫琅和费，约瑟夫·冯**(1787–1826)，见波谱学。

Fraunhofer lines **夫琅和费线**，见波谱学。

Fred L. Whipple Observatory **弗雷德·惠普尔天文台**，史密松国立博物馆所属的天文台，以前称霍普金斯山天文台。该天文台位于亚利桑那州的霍普金斯山，海拔 2,600 米，主要望远镜有多镜面望远镜（正在改造为一具 6.5 米反射望远镜）、一具 1.5 米反射望远镜和一个γ射线探测器。

free fall **自由下落**，只在引力作用下运动的任何物体经受的失重状态。从地球上一座高楼掉下来的人并不是在自由下落，因为空气阻力也影响他的运动。但任何物体在沿轨道绕另一物体运动时（如绕太阳运动的行星），或在恒星之间的无动力轨道上运动时，都是处在自由下落状态。在一个绕地球运行的太空飞船中的宇航员也是失重的，因而也是自由下落。严格地说，每个宇航员有其自身的轨道，太空飞船也有其自身的轨道，不过宇航员的轨道把他们维持在太空飞船内部罢了。

有些书说这并不是真正的失重，因为宇航员（和他们的太空飞船）仍然被地球引力拉扯着。但这些书错了。引力的作用丝毫不差地被自由下落物体的加速度所抵消（见等效原理），轨道上的宇航员既是自由下落，也是处在真正的失重状态。但这种下落并不把他们带回到地面，因为下落的加速度和他们向前的运动相结合，将他们维持在封闭的轨道上。

在一架沿精心设计的抛物线轨道飞行的飞机中也能感知短暂的失重；这种方法用于训练宇航员，让他们品尝失重的滋味。

free lunch universe 免费午餐宇宙，关于宇宙可能产生于完全空无一物且总能量为零的一种概念，其名称源于艾伦·古斯'最后的免费午餐'一语。它与暴涨概念紧密相连。

这一概念由1971年的一期《自然》杂志（232卷、440页）中一条未署名的评注（约翰·格里宾撰写）发展而来，该评注认为宇宙可描述成一个黑洞的内部。后来，加拿大安大略省滑铁卢大学的派思利亚（R.K.Pathria）（《自然》杂志240卷、298页）和纽约市立大学的爱德华·特里昂（Edward Tryon）将这一概念进一步加以发展，后者认为这个黑洞宇宙可能是从虚无中浮现出来的，这是量子理论所允许的，叫做真空涨落（《自然》杂志246卷、396页）。

量子测不准原理允许从虚无中暂时创造出能量泡或粒子对（如电子-正电子对），条件是它们要很快消失。所涉及的能量越小，泡存在的时间越长。奇妙的是，引力场中的能量是负的，锁定在物质中的能量是正的。如果宇宙是真正平坦的（见宇宙模型），那么，如特里昂指出的，正负能量抵消，宇宙的总能量便准确等于零。在这种情况下，量子规则允许宇宙永远存在下去。

如果你觉得这有些虚幻莫测，那我们就谈得来了。乔治·伽莫夫在他的《我的世界线》[32]一书（1979年重印）中，讲到1940年代他和爱因斯坦漫步普林斯顿时的一次谈话情景。伽莫夫漫不经心地提到他的一位同事曾经指出，根据爱因斯坦方程式，恒星有可能从完全虚无中创造出来，因为它的负引力能恰好抵消它的正质量能。'爱因斯坦立时停住脚步，'伽莫夫说，'因为我们当时正穿过一条街，好几辆汽车不得不停下来，以免撞倒了我们。'

遗憾的是，如果一个含有宇宙（或者一颗恒星）全部质量能的量子泡（大小与普朗克长度相仿）真的从虚无中产生，它那强大的引力场会（除非有其他什么东西干预）把它压成一个奇点而立即将它消灭。所以，在暴涨理论的发展证明量子涨落在引力尚未来得及将它消灭时就按指数膨胀到了宏观规模之前，免费午餐宇宙看来不过是一种不恰当的空谈。另见单极子宇宙。

frequency 频率，振荡系统在给定时间——通常为1秒钟——内的振动次数。对于波，比如光或其他电磁辐射，频率是每秒种通过一个点的波数，单位是赫兹（=每秒周数）。电磁辐射的波长等于光速除以频

率。

Friedmann, Aleksandr Aleksandrovich 弗里德曼，亚力山大·亚力山德洛维奇（1888－1925），从事流体力学和气象学等应用研究的俄国数学家，但他最著名的工作却是对阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论方程式的解，这个解证明宇宙并非必须静止，从而为宇宙模型研究的进展打下了基础。

弗里德曼的一生短促而充满传奇。他于1888年6月29日出生在当时的圣彼得堡（现在又恢复了这个名字），1906～1910年在那里的大学学习数学。他成为该大学数学系教师后专攻理论气象学；第一次世界大战期间自愿以技术专家身份为俄国空军服务，曾在前线从事气候观测，其中包括多次飞越敌国领土进行侦察，至少有一次迫降经历。弗里德曼因其英勇行为获得过乔治十字勋章。

弗里德曼度过1917年革命风暴后，转为佩尔姆大学的正式教授，但他卷入了国内战争，当白俄攻占该城时他不得不逃走（弗里德曼支持革命，学生时代他就是左翼政界的积极分子）。布尔什维克重新夺取佩尔姆后，弗里德曼在困难的条件下协助重建大学。后于1920年回到彼得格勒（当时的名称），并在科学院和地球物理总观象台进行气象学研究。不久他被任命为全苏联气象观测负责人，在他1925年去世前，彼得格勒已经改名为列宁格勒。

根据某些资料，使弗里德曼今天得以成名的工作，是在彼得格勒被围攻期间的1917年、当他获悉爱因斯坦广义相对论后几乎立刻做出来的（情况不可能与卡尔·史瓦西对爱因斯坦新理论做出反应的情形如此不同）。但他的这些思想直到1922年才在一篇论文中发表，该论文提出两个对现代宇宙学至关重要的论点。第一，弗里德曼从一开始就意识到，他处理的是爱因斯坦方程式的系列解，即一组宇宙模型。他明白这些方程式的解不可能是惟一的，而这正是爱因斯坦所希望的。第二，他一开始就在他的模型中引进了膨胀的概念。

如果我们把宇宙时空想像为与肥皂泡弯曲表面类似的弯曲时空，那么弗里德曼的计算则证明它的曲率如何能够随时间而变化。

在某些情况下，这个泡永远膨胀；在另一些情况下膨胀到一定大小，然后当引力压倒了膨胀时往回坍缩。另外还有更复杂的模型。但在所有模型中，存在一个整个宇宙的膨胀产生正比于距离的退行速度的阶段。这正是1920年代埃德温·哈勃及其同事从星系红移研究中发现的情形。

但是，哈勃及其同事当时看来

并未听说过弗里德曼的工作，而爱因斯坦则已经看到了。据曾经是弗里德曼1920年代学生之一的宇宙学家乔治·伽莫夫说，弗里德曼发表其工作之前曾给爱因斯坦写信，但一直等到一位俄国同事访问柏林时向爱因斯坦提起这一工作后才收到回信。这封被伽莫夫称为引诱出来的‘态度粗暴的回信’（见《我的世界线》[32]）确认了弗里德曼的工作是正确的；弗里德曼在收到那封回信后才发表了他的研究结果。

1925年9月16日，弗里德曼在列宁格勒逝世。根据官方传记，他死于伤寒；但据伽莫夫称，他死于因参加气象气球飞行时感受风寒后的继发肺炎。伽莫夫是弗里德曼的学生，他的说法也许更可靠，何况弗里德曼在去世前两个月的1925年7月无疑真的参加过高度达7,400米的气球飞行。不管死因如何，弗里德曼未能活到亲眼看到他的计算为观测所证实，而他的这些宇宙模型，直到乔治·勒梅特以弗里德曼用过的同样方法独立求出爱因斯坦方程式的解之后，才为人们认真对待。

补充读物：爱德华·哈里森著《宇宙学》[25]；约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]；E.A. 特罗普、V.Ya. 弗伦克尔和 A.D. 切尔明著《亚力山大·A·弗里德曼》[33]。

Friedmann universe models　弗里德曼宇宙模型，1922年亚力山大·弗里德曼根据阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式最先导出的基本宇宙模型。五年后，乔治·勒梅特求出了实质上一样的爱因斯坦方程式的解。

fundamental forces　基本力，（=基本相互作用）发生在基本粒子之间的四种力。从最弱的力开始按照强度顺序，它们是引力、弱核力、电磁力和强力。

1980年代曾有人宣称发现了‘第五种力’，并一度把它解释为引力在数十米作用范围内的可能变种（实为‘反引力’）。但仔细的实验证明，归因于第五种力的所有效应，在扣除了实验地区地质层密度的变化后，实际上都能用引力来解释。没有证据表明宇宙中还存在四种已知力之外的任何其他力，粒子物理学家的主要目标之一就是用一揽子数学模式解释全部四种力的作用方式（见大统一理论）。

四种力相对强度的差别极为悬殊。如以强力的强度为1单位，则电磁力的强度是 10^{-2}（正好是强力强度的百分之一），弱力的强度是 10^{-6}（强力强度的百万分之一），而引力的强度只有 10^{-40}。这意味着，比如，两个电子之间的电磁斥力比同样两个电子之间的引力大 10^{38} 倍。引力的微弱如此惊人，致使它在粒子对或几个粒子之间的

相互作用中实际上不起任何作用。

但在四种力中人们最先加以科学研究的却是引力，而且（艾萨克·牛顿）建立了圆满的数学理论来描述它。这是由于引力具有可加性——物质团块中含有的粒子越多，该团块的引力越强。而且引力的作用程非常长，强度的减弱仅仅与到物质团块距离的平方成反比(平方反比律)。太阳的引力很大，因为它含有极大量粒子，而它那极长的作用程能将行星维持在它们的轨道上。

确实，正是电磁力和引力在大小上的差异才使恒星能够那样大。在太阳这类恒星的内部，核子之间的电力总是力图把它们分开，因为所有核子带正电荷，而同性电荷互相排斥。同样，原子外部的电子全都带负电荷，如果你试图把两个原子推到一起，它们总是被它们电子云之间的斥力分开。虽然电磁力也遵守平方反比律，而且原则上作用程也很长，但每个原子的净电荷却等于零，因为电子云的负电荷正好与核的正电荷相互抵消（电子因量子效应而不会落到核中；见量子理论)。所以，即使你把大量原子放到一起，总电荷仍为零，而引力则因原子数量的增多而变大。

一个物质团块一旦拥有大约10^{38}个原子，团块中心的原子受到的引力（它上面的全部原子的重量）将强大到使个别原子核挤到一起，使原子核互相接触，而维持恒星内部高温的核聚变过程得以开始。所以，简单地比较电磁力和引力的强度，就能够预报所有恒星必定含有至少10^{38}个原子核。

但情形并非完全如此，因为10^{38}个原子不是集中在一个点，而是扩散到恒星的整个体积中。这对引力来说是个不利因素，它使引力的效率减小了1/3，因为物质团块的体积正比于半径的立方。因此，实际上，引力要能把原子压到一起并引发核聚变，团块应含有大约10^{57}个原子，因为 38 是 57 的2/3。一个拥有10^{57}个氢原子核（记住这个数叫做海因兹汤参数）的物质团块，确实正好是比太阳小一点点的恒星的大小，它的质量大约是太阳质量的 85%。

由于量子效应，稍轻一些的恒星是可能存在的，但决不会轻于太阳质量的大约 10%。需要这么多质量是为了使恒星足够重，能将两个原子压到一起，使一对核发生聚变——当然，一旦恒星有那么重，它将把其深部的所有原子压到一起并引起很多核聚变。

展示引力微弱程度的另一个例子是苹果从树上落下。苹果的柄是通过原子和分子之间的电磁力维持成一体的，柄只含有很少的分子，却要忍受地球的全部粒子作用山蓄

果上、试图扯断它的柄并使苹果落到地面的联合引力。

另外两种力，即强核力和弱核力（通常省略‘核’字，直接称之为强力和弱力），不遵守平方反比律，作用程很短，其影响仅及于一个原子核大小的范围。强力直接作用在夸克之间，使它们结合成强子，包括原子核中的质子和中子（重子族的成员）。尽管质子之间的电磁斥力总想把原子核炸开，强力却能从个别核子漏出而影响近旁粒子，从而将质子和中子保持在原子核内。

既然强力比电磁力大约强100倍，那么我们期望当原子核含有100个以上质子时，电磁力将占优势而使原子核不稳定（在这种情况下，电磁力由于所有质子的电荷相等而可加，作用程很短的强力则不可加，而只在相邻的核子之间起作用）。实际上，强子的处境因原子核中存在中子而稍稍轻松些，但最重的一些稳定原子核仍然含有正好超过200个核子，不过其中的质子都不到100个（甚至钚原子核的质子也只有94个）。再说一遍，对两种基本力之间平衡的简单理解，解释了本来可能成为自然界之谜的现象，即稳定元素数量是有限的。

强力的一个独特性质是，在其作用范围内，分开较远的夸克具有较大的强力。一个核子中三个夸克只要彼此相距在大约10^{-15}米以内，就根本不会明显感受到力的作用——它们似乎由与作用范围大致同样长的松紧带连接着。但是，当某个夸克试图运动到离它的同伴超过10^{-15}米，‘松紧带’就开始绷紧，把它拉回到原地。它试图运动得越远，绷紧得越厉害，拉它回来的力也越大。夸克要逃离核子，仅当注入极大能量（可能通过与其他粒子碰撞），将松紧带扯断，在断裂处的两边各产生一个由纯能量转换而来的新夸克（见狭义相对论），才有可能。

逃离的夸克将与一个新夸克结合，形成一个叫做介子的束缚对，而第二个新夸克则占据它在核子中的地位。

弱力的行为更加不像通常意义下的力，而是引起β衰变过程的一种相互作用。弱力的作用发生在轻子之间和产生轻子的强子衰变过程中。但弱相互作用和电磁相互作用两者能用叫做弱电理论的同一个数学描述统一起来。这个理论把这两种力描绘成单一力的不同方面；将不同力的数目减少到三种是粒子物理学家的重大成功之一，它（大概）也是建立一个将强力与弱电力统一起来的更完整数学模式的办法。

在经典力学中，粒子之间的力用场方程式描述，并想像一个粒子

周围存在对其他粒子施加力的‘力场’。在量子理论中，力（或相互作用）由粒子携带（或传达）。电磁相互作用由光子传达而在带电粒子间交换；弱相互作用由叫做中介矢量玻色子的粒子传达而在轻子间(有些情况下在一个轻子和一个强子之间）交换；强相互作用由胶子传达；引力由引力子传达。有直接证据表明，除引力子外，所有这些力的载体都存在；而且几乎肯定（弦理论也预言了的）引力子确实存在，但引力的极度微弱使得对它们在粒子间交换方式的探测成为不可能。

补充读物：弗兰克·克洛斯著《宇宙洋葱》[28]；保罗·戴维斯著《自然力》[34]。

fusion **聚变**，见裂变和聚变。

G

Galactic centre 银心，我们银河系的中心，它可能是一个质量数百万倍于太阳的中等大小黑洞的所在地。银心被尘埃遮挡，无法用光学望远镜观测，但它是一个强射电源（人马座 A），周围有以大约 110 公里每秒的速率绕它运动的气体和尘埃构成的环。该中心源也能在X射线和红外辐射波段看见。

Galactic plane 银道面，我们银河系在天空展示的天河中恒星最密集处标志出的一个假想大圆。它与地球赤道的交角约 63°。

Galactic poles 银极，从银道面向北和向南各 90°的两个假想点。北银极在后发星座，南银极在玉夫星座。

Galactic rotation 银河系自转，银河系中的一切东西都在各自绕银心的轨道上运动。一颗太阳这样的恒星的轨道速率依赖于轨道之内的质量，而不是银河系的总质量，所以它不遵守开普勒定律。太阳及其近邻恒星的运动速率约 220 公里每秒，沿轨道运行一周约需 2.25 亿年（叫做宇宙年）。

galactic wind 星系风，从任何星系流出的热气体。它常常是爆发式恒星形成过程的结果，这种恒星形成大概是由两个星系并合（见星系形成和演化）所触发，可以通过它的X射线加以探测。

Galactic year 银河年，见宇宙年。

galaxies 星系，由引力维系在一起形成太空'岛'的巨大恒星集合。最大的星系含有几万亿颗恒星，直径可能达到数十万光年。即使最小的'矮'星系也含有几百万颗恒星。我们的银河系含几千亿颗恒星。大致说来，星系与地球绕太阳轨道的大小比例，就像你的身体与一个原子的大小比例一样。

尽管十分巨大，但大多数星系离我们极其遥远，需要借助望远镜才能看见它们。只有最近的大星系——仙女座星系——和银河系的两个伴星系——麦哲伦云——用人类肉眼看像是天空上的微弱光斑。用现代望远镜（包括哈勃空间望远镜）估计能看见 500 亿个星系，但系统研究过的星系只有几千个。

星系按其外形分为两个主要类型——椭圆星系和盘状星系。除了我们看得见的明亮恒星外，星系还镶嵌在大量暗物质之中，这是根据它们的引力对星系运动方式的影响得出的结论。大多数星系出现在星系团之内；最遥远的星系（名叫

8C 1435+635，发现于1994年）的红移为4.25，我们现在从它接收到的光是在宇宙年龄仅仅是当前年龄的20%时发出来的（见回顾时间）。

Galaxy 银河系，我们在宇宙中的家，是由引力维系在一起的恒星（数千亿颗总体上类似太阳的恒星）、气体和尘埃聚集成的宇宙岛，属于盘状星系，直径约3万秒差距，周围是可见的球状星团构成的晕，镶嵌在只能通过引力影响得知其存在的更广阔得多的暗物质晕中。

我们银河系（银河系和星系的英文名拼写相同，为了区分两者，英文总是用大写开头的Galaxy专指我们的银河系）最显著的可见特征是横跨天空的微弱光带，叫做天河①（南半球部分比北半球部分亮），望远镜表明它由大量恒星组成，这些恒星太黯淡（在天空中也挨得太近），人类肉眼无法分辨出单个的恒星。天河实际上是我们从银河系盘内部看到的数十亿颗盘内恒星展示的景象；从我们的所在地到银心的距离大约是盘中心到边缘路程的三分之二，我们在银河系中的地位一点也不特殊。

天河的有些地方被星际物质暗云遮挡，看起来像是天河中的洞。但射电望远镜观测证明银河系物质实实在在分布在一个盘内，其中有伸展到整个盘范围的旋臂。我们的银河系确实是一个普通盘状星系，与用望远镜看到散布天空的数百万其他盘状星系无异，我们在宇宙中的地位一点也不特殊。

银河系盘直径虽然广达30千秒差距（太阳离中心约9千秒差距），盘外区的厚度却只有300秒差距左右。

同其他盘状星系一样，我们银

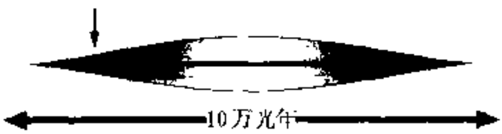
① 英文名‘Milky Way’，源于希腊语，直译为‘奶路’，故英文常称银河系为‘Milky Way Galaxy（奶路星系）’，或径直简称为‘Milky Way（奶路）’。‘Milky Way’有两个含义，一指整个银河系，二指我们在天空看到的光带。在中文中，不论是‘Galaxy’还是‘Milky Way’，只要后者是指整个银河系，一律译成‘银河系’；当‘Milky Way’指的是天空中的光带时，中译名可用中国民间流传的‘天河’，虽然偶尔有人译为‘银河’，但‘银河’与‘银河系’差别太小，仍难免混淆。至于‘奶路’一词，专业和通俗中文天文读物中均从未见用（除非有特别注解）。所以，本中译本将根据原书中‘Milky Way’上下文实际含义，将它分别译成‘银河系’或‘天河’。本注解的部分内容取自原书正文，因两种文字在名词使用上的上述差异，很难不加注解地流畅翻译，故将这部分内容（约两行文字）改写后纳入本注解，而从正文中删去。——译注

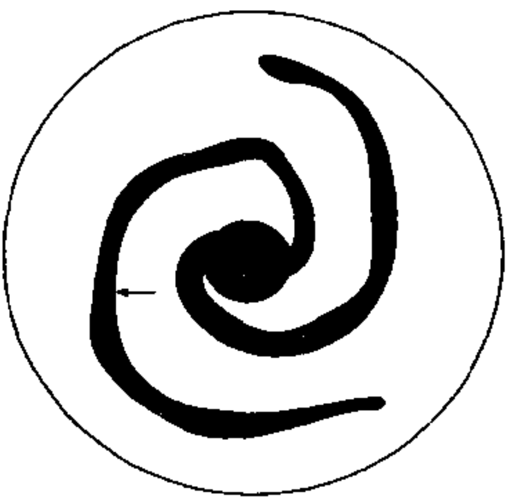
河系的中心是一个由恒星组成的颇像小椭圆星系的核球。核球的直径约7千秒差距，厚1千秒差距；从地球上看，它位于人马座方向。银河系最中心处可能有一个特大质量黑洞。银河系中心区与它的晕一样，只含叫做星族II的老年恒星(年龄约150亿岁)，几乎没有气体或尘埃；银河系盘则含有各种年龄的恒星，包括年轻的星族I恒星。

星族II恒星被认为是在银河系本身形成时首次爆发式恒星形成过程中产生的。最年轻的恒星聚集在盘中心一个厚约500秒差距的薄层内，那里的恒星形成仍在继续。稍年老的恒星（20～50亿岁）则分散在整个盘中，太阳就是这些中年恒星之一。

大致说来，银河系的恒星总数与大小如一座大教堂的仓库中塞满的稻米粒数相等。但如果每颗恒星用一粒稻米代表，那么我们银河系的等比例模型直径将等于从地球到月球的距离（大约400,000公里）。

银河系盘中的恒星，还有气体和尘埃云，均环绕银河系中心运动，其方式与行星环绕太阳运动相似。每颗恒星绕银心运动的速率依





我们银河系的侧视图和平面图示意；箭头所指之处是太阳在恒星盘中的近似位置。

赖于它到中心的距离——离中心较远的恒星比离中心近的恒星运动得较慢。太阳在轨道上的运动速率约250公里每秒，绕银心运动一周约需2.25亿年（这一时间长度有时叫做宇宙年）。对恒星运动行为的研究可以探知作为整体的银河系引力场的本质，并能推算它的总质量。它大约是我们太阳质量的1万亿倍，大致10倍于银河系全部恒星质量的总和。这是我们银河系中存在范围远远超出明亮恒星盘的暗物质的强有力证据。

由于银河系中新的恒星不断形成，并在经历其一生发展后逐渐消亡，加之所有东西都以自身速率绕中心运动，所以，尽管银河系的基本形象大致维持不变，其总体外貌的细节却以天文时间尺度不断变化。这种情形早已被比拟为生物体的生命史，天文学家也随心所欲地使用'诞生'、'演化'和'死亡'等等词语来描绘恒星和星系的行为。星系作为不断演化的'生命系统'这一性质的关键，是物质云在通过旋臂时一再被挤压。

表面上，在类似我们银河系的星系中，明亮恒星臂勾勒的旋涡图案宛如一杯黑咖啡中被搅动成弯曲盘旋的奶油显示的图案。但正如奶油的旋涡图案因较差自转而很快混合成均匀棕色，银河系的旋臂也应该在整个星系完成几次自转后变得模糊不清——大约在10亿年以内。然而，与你在咖啡中搅动的奶油不同，旋臂并不被自转'绕紧'。旋涡图案是由沿旋臂边缘分布的明亮年轻热星造成的，而这些年轻热星产生于进入旋臂并被那里的激波挤压的气体尘埃云。激波才是基本的旋涡特征。

旋涡图案是密度波的可见部分，密度波绕银河系运动，其方向与恒星运动方向相同，但比较慢。假设你从盘面上方很远处俯视银河系，就能想像出这是如何发生的。每颗恒星沿着几乎完美的圆轨道绕银心运动，但它同时又在其他恒星和暗物质的引力作用下不时向内和向外稍稍偏离轨道弯弯曲曲地前进。实际上，恒星沿一个小的圆轨道运动，这个小圆轨道的中心又沿绕银心的圆轨道运动——这很像扩大到星系规模的古代本轮体系。这种弯弯曲曲运动使恒星在某些地方聚集，而形成密度波。密度波绕银河系运动的速率约30公里每秒，盘中的恒星和物质云的速率为200~300公里每秒，从而赶上并穿过密度波。

这就产生了沿着旋涡图案边缘的激波，犹如巨大的旋涡声爆。气体尘埃云因交通阻塞正好聚集在每个旋臂的后面，它们在弯曲旋臂内侧被挤压，触发了爆发式的恒星形成。

这个过程基本上是自我维持的。以这种方式形成的最大恒星很快走完它们的生命历程，然后爆发为超新星。超新星爆发产生的强劲激波通过近旁星际物质，正是引起其他云坍缩而形成更多恒星所需要的。过程一旦启动，它就像森林火灾那样蔓延到力所能及的银河系区域。寿命较长的较小恒星和存留下来的星际物质云则继续其通过旋臂和绕银河系的旅行。但是，物质穿过旋臂后，在绕银河系的运动中，用不了很久（从天文时间尺度看）就会遇到下一个旋臂，于是再次被挤压。银河系盘中的一切东西，在绕银河系中心运动时，都反复经受这一挤压过程。

天文学家估计，在太阳轨道之内的盘体中，分子云形态的物质，总共可能达到 30 亿倍太阳质量。这等于我们银河系同一区域（包括中央核球）中恒星总质量的 15%。分子云由恒星在其生命终结时抛出的物质构成；分子云物质不断地转变成恒星，恒星物质也不断地循环使用以产生新的分子云。

计算机模拟证明，一个自转盘状星系通过这一过程产生的扰动，其自然形态正好是旋涡结构；这些模型还表明，旋涡图案不可能坚持很久，除非整个盘镶嵌在一个大的暗物质云中。暗物质的引力作用能维持旋涡图案稳定，使它在其形状最终改变成星系中心区的棒状结构之前能够维持长久得多。我们已经观测到很多这样的棒旋星系，我们银河系也可能朝这个方向演化。有证据表明我们银河系中心已经有了一个小小的恒星组成的棒，但银河系中心区很难观测，因为它被天河平面上的气体和尘埃挡住了。

整个过程最惊人之处在于，大质量恒星（它们只存活 100～1000 万年）从坍缩时间尺度 10～100 万年的云中形成，却要维持存留至少 10 亿年的旋臂。在这一过程中，尘埃和气体转变为新恒星的速率几乎同老年恒星将物质返回给星际介质的速率完全一样，而这两者在整个银河系中每年仅仅涉及两倍太阳质量的物质。这听起来觉得很少，但几百万年相加却能达到惊人数量。

整个过程大致保持稳定，就像由大量细胞组成的生物体，虽然许多细胞的寿命只有几星期，却能维持身体长达 70 年或更久。你的身体随时在‘损失’细胞（主要从你的皮肤和肠子内壁），但你却不会‘消耗殆尽’，因为损失的细胞不断由新细胞取代。与此类似，旋臂中的恒星不停地离开，并随着年龄增大而逐渐逝去，但旋臂并不‘消失’，因为旋臂内侧不断有新的明亮蓝星诞生。

顺便说一句，你身体中的细胞

比银河系中的明亮恒星多 1,000 倍，所以银河系是一个比人体简单得多的‘生物体’。

补充读物：约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]；奈杰尔·亨贝斯特和希瑟尔·库珀著《银河系入门》[35]。

galaxy formation and evolution 星系形成和演化，1990 年代初叶，天文学家关于星系形成和演化的观念发生了引人注目的变化，这是由于研制了更完善的望远镜（包括哈勃空间望远镜），使人们能够通过研究更暗、红移更大、因而代表着宇宙年轻时期的星系，来回顾更加遥远的过去。在取得这一突破之前，人们普遍认为，我们今天看到的全部星系，实质上都形成于大爆炸刚过后的同一时期，而且它们都随着宇宙年龄增加而各自独立演化。新观念则把宇宙描绘成变化的动态画面，其中星系互相竞争‘生存空间’、彼此融合、或吞并其他星系。新旧观念之间最富戏剧性的差别是，椭圆星系过去一度认为是年老系统，现在则看成是在涉及盘状星系和其他星系之间相互作用的过程中形成的相对新近产品。

在天空照片上，盘状星系（有时也称旋涡星系）比椭圆星系多得多，但最大的椭圆星系远远大于任何旋涡星系。一个典型的盘状星系，如我们的银河系，可能含有 1,000 亿颗恒星，但最大椭圆星系拥有的恒星比这多 100 倍。不过也有许多矮椭圆星系，它们有些不会大过一个球状星团，包含恒星约 100 万颗。很多矮椭圆星系必定非常黯淡而无法看见，所以椭圆星系肯定大大超过我们已经看到的。

天文学家过去认为椭圆星系年老，是因为它们的恒星主要是冷的红星，几乎不含尘埃和气体。既然冷红星是老年恒星，所以认为椭圆星系也是年老的。然而，盘状星系虽然含有很多热的年轻恒星，而且恒星形成过程仍在它们的气体尘埃云中继续，但确实也有不少老年（星族 II）恒星聚集在它们的中央核球和散布在围绕盘体的球状晕内。新的证据表明，椭圆星系中的红色老年恒星实际上来源于盘状星系。椭圆星系要么形成于两个旋涡星系之间发生导致盘体瓦解的相互碰撞；要么形成于一个原有椭圆星系吞食一个盘状星系的并合。这就是椭圆星系如此巨大的原因。

证据来自对正处在并合过程中的星系的观测和对这种并合事件的计算机模拟。两个盘状星系碰撞时，薄薄的盘体瓦解，两个星系融合成状如椭圆星系的单一‘星堆’。恒星本身并不相互碰撞，但两个系统相互作用的引力场把所有恒星拉进一个球形空间。碰撞星系中的气体尘埃云则发生真正的相互碰撞，

产生激波，激波在新系统中传播并触发恒星形成高潮（见星暴星系）。

当一个大椭圆星系吞并一个小盘状星系时，椭圆星系变大，看起来仍像单一的恒星系统。但计算机模拟表明，在扩大了的椭圆星系内部，来自盘状星系的很多恒星不再沿着互相类似的轨道运动。照片证明情形正是如此。椭圆星系并非无特征的恒星堆积，它们含有比较亮的交叉光条和光弧，那就是被吞食但未完全消化的盘状星系的残余。

我们朝宇宙深处看得越远，我们在时间上就回顾得越早，这是因为光在空间传播的时间是有限的。在我们身处其中的这一宇宙部分，星系团含有很多椭圆星系而总体上呈微红色。在对应回顾时间约50亿年的距离处，星系团要蓝得多（表明那时活跃的恒星形成过程比较常见），哈勃空间望远镜业已证明这些遥远星系团中的很多天体是正在融合的成双成对的盘状星系。今天椭圆星系中的气体和尘埃如此之少，就是因为它们全都在这类融合过程中转变成了恒星。

今天，最大的椭圆星系位于星系团的中心，通过吞食其他任何过于靠近的星系而不断长大，好似一只蜘蛛坐享自投罗网的美食而日益肥壮。我们今天看到的全部星系中，仅1%活跃地卷进了这类并合。但是，并合的过程极为短暂（同星系年龄相比），根据天文学家的计算，过去70或80亿年间，我们现在看到的全部星系的一半都曾卷进过与大致相同大小星系的并合。在宇宙更为年轻而星系彼此靠得更近时，并合应该发生得甚至更加频繁。

现在认为，盘状星系本身是宇宙早期的较小实体并合而成。球状星团的年龄范围大约是70～140亿岁，暗示我们的银河系是在几十亿年间融合了100万左右小气体云而形成的。每个‘新’气体云与成长中的银河系碰撞时，激波就会引发一阵爆发式的恒星形成，产生一个新球状星团或往银河系中心核球补充新恒星。剩下的物质便沉降到盘中，最终形成旋臂。计算机模拟显示，整个融合过程在暗物质模型中特别有效，因为暗物质的引力将一切东西维系在一起——确实，如果宇宙中没有暗物质，我们今天所见的星系大概根本不会形成。

然而，仍有一些涉及星系形成和演化的难题有待解释。例如，1980年代，美国电报电话公司贝尔实验室的科学家们，证认了红移值相当于回顾时间20～30亿年的巨大数量矮星系。我们看到的这些矮星系是它们在地球只有当前年龄一半时的情景。那时，地球上的生命甚至还未曾离开大海登上陆地；但如果当时地球上有天文学家，他

们的望远镜就会看到众多蓝色矮星系在夜天照耀，每个矮星系大约是我们银河系大小的1%。

那些矮星系是如此之多，以致有人把它们在现代天文照片上出现的可能景象描绘成‘宇宙墙纸’。可是我们看不见任何与此类似的东西今天仍在活动。

也许，那些矮星系曾经是盘状星系形成过程的中间阶段，已经被离我们较近的旋涡星系吞并了。也可能那些构成宇宙墙纸的矮星系不过是烧光了，因为它们太小，引力场很弱，这些小不点儿星系中第一次恒星形成高潮时产生的超新星引起了强大激波，把矮星系中所有剩余气体和尘埃驱赶到星系际空间去了，没有留下形成新恒星的原料。与那些矮星系相当的天体（或至少是它们的化石遗体）现在仍然可能存在，但它们目前只含有年老的衰亡中的恒星，由于太暗而从地球上无法看见。

蓝色矮星系时代之前，宇宙中的星系比我们现在看到的要大得多，但质量却不见得更大。它们不过是扩散得更广袤而已，因为引力自大爆炸以来还没有来得及把它们全部拉扯成一个更致密的形态。整群整群星系像生物体的生态系统那样一起演化，相互争夺原料（将转变成新恒星的气体云），相互吞并，适应随宇宙自身演化和年龄增长而不断变化的条件。当我们听到天文学家谈论出现星族、演化和变化，以及某种东西（如蓝矮星系）消失时，有时竟觉得这不是天文学家在谈论星系，而是生物学家在谈论地球上生物体的进化①。

Galilean telescope　伽利略望远镜，伽利略使用过（但不是发明）的一种简单的折射望远镜，其凸面物镜和凹面目镜装在很长的镜筒中。

Galileo　伽利略探测器，美国宇航局1989年发射的一枚太空探测器，定于1995年12月到达木星。这是第一个打算进入绕木星轨道、并在两年期间发回有关该行星及其卫星数据的太空探测器。

Galileo（Galilei，Galileo）　伽利略（伽利雷、伽利略）（1564－1642），意大利数学家和自然哲学家，也有人认为他是第一位现代天文学家，因为他是用望远镜系统地观测天体的第一人。

伽利略·伽利雷（人们提到他时总是只用名而不用姓）在1564年2月15日出生在比萨（和威廉·莎士比亚同年出生）。其父温森齐

① 天文学中的‘星族’、‘演化’、‘变化’、‘消失’等词的英文与生物学中的‘种群’、‘进化’、‘变异’、‘灭绝’等词是相同的，故有此比拟。——译注

奥·伽利雷（Vincenzio Galilei）是著名音乐家和学者，喜好数学，对行星位置之间的数学关系反映了音乐中的数学关系（'天球的谐音'）的思想深感兴趣。伽利略先是接受家庭教育，1576年举家迁往佛罗伦萨后进入一所修道院就读，直到1581年。然后他回到比萨学习医学，但他关注的却是数学、物理学和天文学，他从未修完医学学业。

在比萨学习期间，大概是1583年，他在观察大教堂的吊灯摆动时，发觉同一个吊架摆动一次的时间，不管摆动幅度如何，总是一样的——他是用他自己的脉搏给灯的摆动计时而发现这一现象的。根据这一发现，他设计了一具钟，死后由他的儿子制造成功。

1585年伽利略未获学位便离开比萨，在佛罗伦萨自修。1589年他成为比萨大学数学教授。他在那里因为驳倒古希腊人认为重物体比轻物体下落得更快的陈旧观念而获得声誉，但没有证据表明他曾经从比萨斜塔抛下一个炮弹和一粒子弹以证明两者下落同样快。

为了研究引力对下落物体的影响，伽利略确实进行过一系列实验，他把球从斜面上滚下，这样可使球的'下落'运动减慢而便于准确计时。这些研究有助于弄清引力加速下落物体的方式，并为艾萨克·牛顿在17世纪研究物体的运动指明了道路。伽利略懂得运动是相对的。



伽利略（1564－1642）。

很多这类工作是在帕多瓦进行的，在那里，伽利略于1592年被聘为数学教授，并居留18年之久。虽然伽利略终生未婚，但他1599年开始同玛琳娜·甘芭（Marina Gamba）私交甚密，他们育有两个女儿和一个儿子。

1609年伽利略获悉荷兰科学家发明了望远镜后（参见希杰斯），自己建造了一具，他用这具望远镜观察了月球、木星及其卫星（即他发现的四颗最大卫星）以及恒星。他把他的观察写入1610年发表并

使他名传遐迩的书《星空使者》。该书的成功引起托斯康尼大公爵的注意，后者在他于佛罗伦萨继续从事科学研究（现在转到流体动力学方面）时成了他的庇护人。他移居佛罗伦萨时，玛琳娜留在帕多瓦，并嫁给了别人。

1613 年伽利略公开支持尼古拉·哥白尼提出的太阳系日心模型，1616 年天主教会宣布此学说为异端，命令伽利略放弃对它的支持，他不得不避免公开支持哥白尼思想。直到乌尔班八世接任教皇的 1624 年，他认为改变处境的时机成熟，便申请获准发表据称将是对地心模型和日心模型公平讨论的著作，但当最后写成的书（《关于两大世界体系的对话》①）于 1632 年问世时，作者赞成何种体系便一目了然。书被禁止，伽利略也被加以宣扬异端邪说罪名。在拷打折磨的威胁下，69 岁的伽利略被迫公开放弃地球绕太阳运动的思想，但他在刚刚正式声明改变信仰后，却低声嘀咕 'eppur si muove'（'可它确实在运动'）。

伽利略被判终生关押，减刑为本宅软禁后，他在佛罗伦萨近郊一座别墅中工作，直到八年后离他 78 岁生日还差一个月时逝世。他晚年双目失明，但在其弟子温森佐·维瓦尼（Vincenzo Vivani）和埃万格利斯塔·托里切利（Evangelista Toricelli）帮助下完成了一部总结他毕生工作的著作《谈话》②。该书手稿被偷运出意大利，1638 年在荷兰首次出版；1642 年 1 月 8 日伽利略在阿切特里去世。1992 年 10 月 31 日，经过教廷 300 多年深思熟虑，约翰·保罗二世教皇撤消了宗教法庭对伽利略的判决。

GALLEX 伽勒克斯［实验］，使用镓作为探测器的太阳中微子观测计划（英文名称来源于 'GALLium EXperiment——镓实验'）。该探测器建在意大利北部格兰·萨索的地下实验室中，是欧洲－美国－以色列的合作项目，它用 30 吨镓来'捕捉'通过的中微子。见太阳中微子问题、萨奇实验。

gamma ray astronomy γ 射线天文［学］，利用电磁辐射的最高能部分研究宇宙本质的学科。这一高能辐射从X 射线能段延伸到能量更大万亿倍的区域，只能用地球大气外卫星和火箭运载的仪器探测到。如果用波长定义，γ 射线是波长短于 0.1 纳米的电磁辐射。

从 1960 年代末以来，已经用

① 全名为《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。——译注

② 全名为《关于两门新科学的谈话和数学证明》。——译注

一系列卫星研究过来自太空的γ射线；最重要的前期γ射线天文台是1972年美国宇航局发射的SASII（小天文卫星2号）和1975年发射的欧洲科斯B卫星。这些卫星观测到来自天河平面的γ射线辐射带以及与超新星遗迹和脉冲星等类天体有关的分立γ射线源。另外还有来自所有方向的微弱γ射线背景辐射，可能是众多遥远星系活动的产物。

我们银河系中心有一个特别令人感兴趣的γ射线源，它发出由电子和正电子互相湮灭产生的能量为511,000电子伏的辐射，大概与银河系中心的黑洞活动有关。

最令人困惑因而最令人感兴趣的γ射线源是所谓的'爆发体'，它们最早是1960年代末叶由美国空军发射的卫星探测到的。由于这些卫星用于监测与原子武器试验有关的地面核爆炸，这一发现直到1973年才解密并公之于众。这些功率极为强大的源从出现到再次消失只要几秒钟，但在这一短促的寿命期间，一个γ射线爆发体在γ射线能段的亮度等于全部其他γ射线源在天空汇集一处时的总亮度。平均说来，每天可以探测到一个这样的爆发体。没有人知道是什么引起了γ射线爆，甚至也不知道这些源是在我们银河系内，还是在宇宙中的遥远他方。

gamma rays γ射线，波长范围10^{-10}～10^{-14}米、相当于每个光子能量1万电子伏（10千电子伏）～1,000万电子伏（10百万电子伏）的电磁辐射。它们与X射线相似，但能量较高（也就是波长较短）。

Gamow, George（'Joe'） **伽莫夫，乔治**（'乔'）（1904－68），乌克兰裔美国物理学家，率先计算了大爆炸的条件，预言了背景辐射的存在，并参与破译了生命分子DNA的遗传密码。

伽莫夫是一个少见的奇人，他那跃进式的想像力把他从核物理学带进了宇宙学，又从宇宙学带进了分子生物学。他极爱开玩笑，实际上也干了几件著名的恶作剧（见αβγ理论）。他写了大量普及科学知识的书，其中一些至今还在印刷发行。伽莫夫1904年3月4日出生在敖德萨，父亲是教师，他经历了战争和革命的动乱，1922年18岁时入新俄罗斯大学就读。他13岁时父亲送他一具望远镜作为生日礼物，就开始对天文学产生了兴趣。不久他从新俄罗斯大学转到列宁格勒大学，攻读光学，然后师从亚力山大·弗里德曼学习宇宙学。他从弗里德曼那里学到有关宇宙模型的第一手知识，于弗里德曼去世三年后的1928年完成博士学位学业。

生气勃勃的博士伽莫夫随即漫

游欧洲。1928－1931年间，他先后在格廷根大学、哥本哈根理论物理研究所和剑桥卡文迪什实验室工作，然后又回到哥本哈根。这三个研究中心是当时以发展量子理论为标志的物理学革命精英所在。伽莫夫在访问格廷根大学期间，将量子理论应用于解释α粒子如何能从原子核中逃逸［美国的爱德华·康登（Edward Condon，1902－74）也独立得出同样的解释］，而做出了他的第一个重大科学贡献。根据对α衰变的这一解释又能反过来洞察α粒子（氦原子的核）如何与其他核子相结合（聚变；另见核合成）。

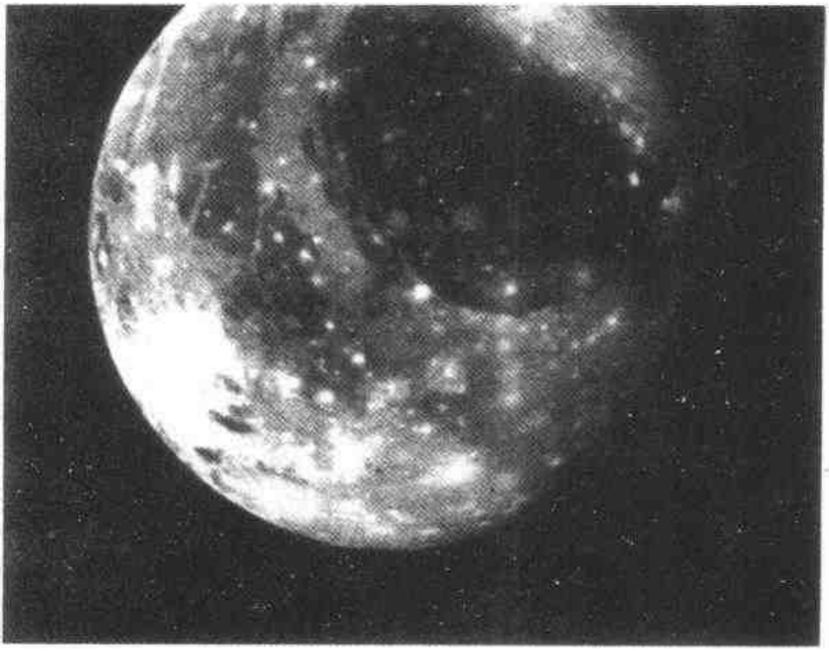
1931年伽莫夫被召回苏联，被任命为列宁格勒科学院首席研究员和列宁格勒大学物理学教授。在当时斯大林制度下，伽莫夫感到很不开心（无处表现他那极富想像力的诙谐天性），当他1933年获准参加在布鲁塞尔召开的一次会议时，他抓住机会永远离开了苏联，1934年在哥伦比亚特区华盛顿的乔治·华盛顿大学谋得一个职位。他在那里呆到1956年，然后转往科罗拉多大学工作，直至64岁去世。在他迁往科罗拉多那一年，他被联合国教科文组织授予卡林加奖，以表彰他以《汤普金斯先生》丛书为最佳代表的科学普及工作。

伽莫夫在美国安顿下来后，开始在给朋友的信上署名'Geo.'，他坚信这就是他的名字的简写，没想到却与'Joe'同音，从此他的朋友和同事就称他为'Joe'（'乔'）。

虽然伽莫夫研究过β衰变和恒星演化，第二次世界大战期间参加过曼哈顿计划和后来研制氢弹的工作，但他享誉最高的则是他对大爆炸理论的贡献。从1946年开始，通过和他的学生拉尔夫·阿尔非及罗伯特·赫尔曼共同研究，伽莫夫证明了原始氦应该在大爆炸本身发生时就已经由氢核（质子）和中子加工出来，预言了宇宙应该充满大爆炸遗留下来的微弱微波背景辐射。可是这一预言在1960年代阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊偶然发现背景辐射之前一直被人遗忘了。

也许是由于背景辐射发现前的耽误，人们未必意识到，在对宇宙微波背景辐射的当前研究和早在1917年就由弗里德曼率先提出的宇宙模型之间，存在着由弗里德曼的学生伽莫夫建立起来的直接联系。

1950年代，伽莫夫对破译DNA遗传密码的问题着了迷。虽然他自己没有解决这个问题，而且好几次劲头十足却领错了路，但他发挥了鼓舞他人从事这项研究的作用，并在几个次要方面做出了有意义的贡献。他最重要的贡献是提出



木卫三。旅行者空间探测器拍摄，是太阳系最大的卫星

广一种思想，认为沿一个 DNA 分子本身排列的较小分子构成的序列，确实可以'读成'一个类似四字母表那样的密码。1968 年 8 月 20 日伽莫夫在博尔德去世。

补充读物：乔治·伽莫夫著《汤普金斯先生》[36]；约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]。

Ganymede 木卫三，木星的最大卫星，直径 5,262 公里（也是太阳系的最大卫星）。它的密度很低，不到水密度的两倍。总体上它很亮，反照率达 0.42，但表面有很多暗而深的坑状特征。

gauge theory **规范理论**，以对称概念为基础的关于基本力的统一理论的一种处理方法。今天粒子世界的所有成功模型都是依据规范理论。

规范理论的名称，根源于这些模型中的测量起始点可以'重新规范'。例如，如果把一个球放在楼梯的一个梯级上，然后让它落到下一个梯级，球储存的引力能便减少一个确定数量。能量改变仅与两梯

级的高度差有关。你可以从楼梯底部开始测量每个梯级的高度，也可以把要测量的高度重新规范成从地球中心或任何其他地方算起的距离，这对计算结果没有任何影响。这叫做规范对称性。

完全等效的规范对称性可应用到电磁相互作用，诸如在电磁场中驱动一个电子。结果表明，只有当光子质量等于零时，这些现象的数学表述才是规范对称的。这与物理学家有关光子的已有知识相符。其他形式粒子相互作用的相应表述比较复杂，但规范理论的重大成功之一是预言存在光子的三种对应物（叫做 W^+、W^- 和 Z^0 玻色子），它们后来都在实验中发现了。

规范理论在描述宇宙膨胀最早期阶段的暴涨理论中起着重要作用。根据暴涨理论，初始膨胀的推动力来源于初始规范对称性的一次与基本相互作用有关的破缺。

Gauss, Karl Friedrich 高斯，卡尔·弗里德里希（1777－1855），德国数学家和天文学家，发展非欧几何学（对广义相对论十分重要）的先驱，除大量数学和物理学研究成果外，还完成了行星轨道计算的重要工作。磁场强度的一种单位是用他的姓氏命名的。

Geminga 杰敏卡γ射线源，双子星座中的一个强γ射线和X射线源。它大概是一个双星系统，其中两颗中子星在轨道上互相绕转。杰敏卡γ射线源的准确距离不明，但可能小于200秒差距。

general theory of relativity 广义相对论，阿尔伯特·爱因斯坦在20世纪早期发展的引力理论，于1915年提交给普鲁士科学院。因为引力是总体宇宙中占优势的力（多亏它极长的作用程），这一引力理论也是宇宙学的理论，它是有关宇宙如何演变到今天模样的一切现代模型的支柱。

1905年发表的爱因斯坦狭义相对论处理的是匀速直线运动物体之间的动力学关系，它不涉及加速度，或者说不涉及引力，因此才把它称为'狭义'（意指'有局限的'）理论。爱因斯坦一直想把他的理论推广到处理加速度和引力，但他用了10年时光才找到一种对宇宙及其中一切事物动力学的圆满数学表述（当然不是10年时间全部给了广义相对论）。幸而，我们不必通过数学也能懂得爱因斯坦理论，因为用几何学和物理图像就能把它解释清楚。

确实，爱因斯坦理论的全部论点就是描绘一幅引力如何起作用的物理图像。艾萨克·牛顿发现了引力的平方反比律，却公开声称不能解释为什么引力遵守平方反比律

('hypotheses non fingo'①)。广义相对论也认为引力遵守平方反比律(极端强大的引力场除外)，但说明了为什么应该如此。这就是爱因斯坦理论比牛顿理论优越之处，它实际上包含了牛顿理论，在除极强引力场外的一切问题上给出与牛顿理论同样的'答案'。

两个关键性的物理见解将爱因斯坦引向了广义相对论，也有助于我们理解广义相对论的物理内涵。第一，爱因斯坦领悟到，如果有人从高楼顶掉下，他们在碰到地面之前根本感觉不到引力（忽略这一简单情景中的空气阻力）。他们是失重的——就是我们所说的自由下落。换言之，下落的加速度准确地抵消了引力，或者说，加速度和引力是等效的（1907年爱因斯坦首次以这种方式表述的等效原理）。

第二个物理见解将这种等效性扩展到引力对光的影响。现在他想像的不是从楼顶掉下的人，而是一间缆绳断裂、一切安全装置全失效、因而在井道中自由下落的无窗电梯。根据等效原理，电梯间内部的物理学家，尽管配备了物理实验室全部常用仪器，也无法辨别电梯间究竟是在加速走向与地面发生不愉快碰撞，还是在宇宙深处自由漂浮。

那么，对于从下落电梯间的一边照射到另一边的光束，会发生什么情况呢？在失重的'房间'内，牛顿运动定律必定适用，光束必定从电梯间的一边沿直线传播到另一边。现在请想像，对电梯间外面的人来说，情况会怎样。假设电梯间的墙壁是玻璃的，光束路径用电梯下落时经过的每一层的灵敏仪器进行测量。由于'失重'电梯间和它内部的一切真正被引力加速，在光束通过电梯间的时间内，下落的电梯间已经增加了它的速率。光束从一面墙上的一个点出发后，要想击中第二面墙上与出发点正好相对的点，惟一的办法就是沿曲线传播，向下弯曲以配合电梯间速率的增加。而惟一能造成这一弯曲的东西就是引力。

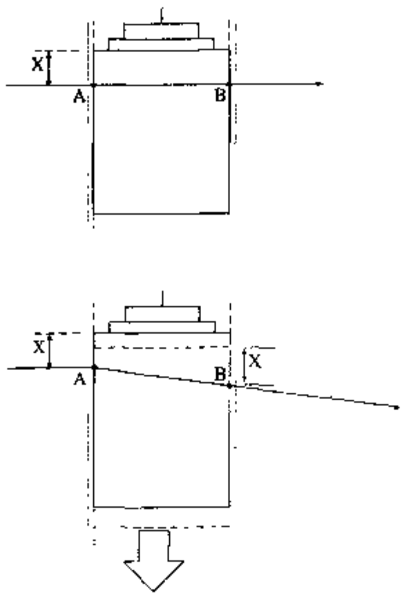
于是爱因斯坦推想，如果引力和加速度精确等效，引力就必须使光线弯曲，弯曲的准确数量可以计算出来。这个结论并不完全出人意外：把光看成微粒流的牛顿理论也认为光束会被引力偏折。但在爱因斯坦理论中，预言的光线偏折在数量上正好两倍于按照牛顿理论的值。当1919年日食期间测量了太阳引力造成的星光弯曲，发现它符合爱因斯坦而非牛顿理论时，广义

① 拉丁文，意为'不需要假说'。——译注

相对论被欢呼为一大科学胜利。

在那之前，爱因斯坦提供了一幅光线弯曲如何发生的物理图像。设想用一张拉紧的橡皮（就像一张蹦床的表面）代表空无一物的空间（严格说是时空）。在这样一个表面上，你可以用滚过表面的弹子代表光线；它们沿直线传播，适用欧几里得几何学规则。现在设想在橡皮表面上放一个重物（如一个保龄球）代表太阳。橡皮表面被重物压弯曲，如果将一颗弹子在表面上滚，其轨迹在沿重物周围曲线运动时将在‘太阳’近旁弯曲。这种曲线轨迹是变形橡皮表面的弯曲空间中的短程线，而曲面上的几何学规则是非欧几何学规则。爱因斯坦说，物质的存在引起四维时空发生与此等效的弯曲。于是，时空的曲率影响通过弯曲时空区的一切东西（包括光和行星）的运动。这种情景被总结成一句简洁的格言：‘物质告诉空间如何弯曲，空间告诉物质如何运动’。

关于这一图景，有一点很重要但有时引起误解。我们处理的不止是弯曲空间（不管上述格言如何说！），而是弯曲时空。例如，地球绕太阳的轨道在空间形成一个封闭环，而地球被太阳的引力保持在它的轨道上。如果你想像这个封闭轨道代表着太阳引起的空间曲率，你就可能得出太阳周围的空间本身是



爱因斯坦对光线弯曲的见解。一根光线沿直线通过一个悬浮在空间的电梯。如果电梯在引力场中下落，那么，要使电梯内部的观察者确实看见光线沿直线通过，则光线必须真正被引力所弯曲（从电梯外的观察者看来）。

封闭的结论——这显然不是真的，因为太阳不是一个黑洞，光（和其他东西）也能够逃离太阳系。

实际情况是，太阳和地球两者都在沿自己的世界线通过四维时空，这种描述是赫尔曼·闵可夫斯基在 1908 年最早提出的。在这一

描述中，时间和空间在几何学上是等效的，两者通过数值等于3亿米每秒的光速相联系。所以，每一秒钟时间等效于时间方向上的3亿米。地球和太阳通过时空从过去进入未来的运动方向几乎相同，在四维时空中，地球绕太阳的轨道不再是一个封闭环，而是一个环绕太阳世界线的拉得很长的螺旋线。

我们现在从另一角度来看这个问题。光线从太阳传播到地球需时约8.3分钟，所以地球轨道的周长约52光分。但地球沿轨道运行一周实际花费的时间不是52分钟，而是一年（525,600分钟）——在这一时间内地球已经沿它的世界线在时间方向上足足运动了525,600分钟，这等于它在空间的等效行程的10,000倍和从地球到太阳的等效'距离'的63,000倍。因此，地球绕太阳的四维'轨道'是一根高度比半径大63,000倍的又长又细的螺旋线。

广义相对论做出了很多已经通过多次实验检验的预言，其中包括光线偏折、水星的近日点进动、引力红移和引力时间膨胀。它在所有检验中均大获成功，而最辉煌的胜利是它对脉冲双星观测表现的解释。广义相对论无疑是宇宙物质行为以及空间、时间和物质之间关系的完美而精确的描述。如果还能有所改进的话，那么任何更好的理论必须把广义相对论包括在内，就像广义相对论包括了牛顿引力理论一样。

当爱因斯坦用他的广义相对论方程式描述总体宇宙行为时，他惊奇地发现他那纯理论形式的方程式不允许宇宙成为'静态'的——它们表明，随着时间的流逝，空间要么收缩，要么膨胀。可那时，在1917年，宇宙被认为是静止的。这导致爱因斯坦引进一个附加项——宇宙学常数——以保持宇宙静止。但几年以后，人们领悟到我们确实居留在一个膨胀宇宙中，宇宙学常数是不需要的。这一发现也可以看成对广义相对论预言的证实，尽管爱因斯坦本人最初进行计算时未能领悟到它的意义。

是广义相对论告诉我们宇宙是如何从一个初始奇点演变出来的，而这意味着宇宙确实诞生于一种超密状态——大爆炸。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；基普·桑尼著《黑洞和时间翘曲》[19]；克利福德·威尔著《爱因斯坦是对的吗?》[18]。

geodesic　短程线，弯曲空间中与平纸上的直线对应之物——确实，这样一根直线是特殊情况下的短程线，即两点之间的最短距离。光子总是沿短程线传播。

geosynchronous orbit　地球同步轨道，卫星绕一颗自转的行星运行一周的

时间与该行星自转一次的时间相等时所遵循的轨道，叫做同步轨道。绕地球的同步轨道称为地球同步轨道。因此，地球同步轨道上的卫星似乎停悬在地球赤道某点的上空（有时也叫地球稳定轨道），或者（当轨道稍稍偏离赤道时）在天空描画出一个8字形图案。

卫星沿轨道运行一圈的时间只依赖于轨道高度和它绕行的行星质量，较低轨道的卫星绕行一周所需时间较短。对于地球，自转周期是23小时56分4.1秒，绕行周期与此相等的轨道高出赤道35,900公里。需要用强大的火箭才能把卫星送入这样高的轨道，但这样做所付出的代价，对通讯卫星、导航卫星以及某些地球资源卫星和气象卫星来说，是非常值得的。只要在地球同步轨道上放三颗均匀间隔的卫星，就能把信息发送到世界任何角落；也由于电视卫星是在地球同步轨道上，你的接收天线才不必随地球自转和卫星运动而满天跟踪。

著名科普作家亚瑟·克拉克（Auther C. Clarke）最先认识到地球同步轨道对通讯的重要性，早在人们实际掌握这一通讯技术之前的1940年代，他已经撰文指出了这种可能性的要点。

German-Spanish Astronomical Centre 德国－西班牙天文中心，西班牙南部阿尔梅里亚地区海拔2,160米的卡拉奥托山上的一座天文台，属于德国海德堡的马克斯·普朗克天文研究所。它的主要设备是3.5米反射望远镜、1.5米反射望远镜、1.2米反射望远镜和0.8米施密特照相机，其中3.5米望远镜与欧洲南方天文台的那一台完全一样。

Giacconi, Riccardo 贾可尼，里卡多（1931－），意大利出生的美国物理学家，他是发展X射线天文学的先驱，1962年他领导的小组发射了一枚火箭打算监测月球的X射线，但却发现了太阳系外的一个强X射线源，现在已证认为天蝎座X－1。他也参加过乌呼鲁计划和切伦科夫辐射的研究。

Giant Metre-wave Radio Telescope (GMRT) 巨型米波射电望远镜 (GMRT)，印度浦那县北部一组综合孔径望远镜阵，由30台全可动抛物面天线组成，每台天线的孔径为45米，工作于米波和分米波段。它是世界上在这些波段工作的最大射电望远镜，其中央阵含天线12台、占地1公里见方，其他天线分布在呈‘Y’形的三条各14公里长的铁轨上。

giant molecular clouds 巨分子云，我们银河系中主要由氢的分子构成的巨大气体云。这些在1970年代用射电天文学方法探测到的云含有数百万倍于太阳的质量，提供了形成新恒星的原料。

giant planets **巨行星**，我们太阳系中四颗最大的行星（木星、土星、天王星和海王星），它们全都主要由气体构成，都比岩质的类地行星大得多。

giant star **巨星**，直径大约为太阳直径的10～100倍、光度为太阳光度的10～1,000倍的任何恒星。见恒星演化。

Ginga **银河号卫星**，1987年发射的一颗日本X射线天文卫星。

Giotto **乔托行星际探测器**，1985年由欧洲空间局发射、1986年与哈雷彗星紧密接近的一个太空探测器。这次飞行提供了彗星'脏雪球'模型正确性的重要验证。

glitch **自转突变**，脉冲星周期的突然变化，它可能是由'星震'引起脉冲星物质重新分布而产生。

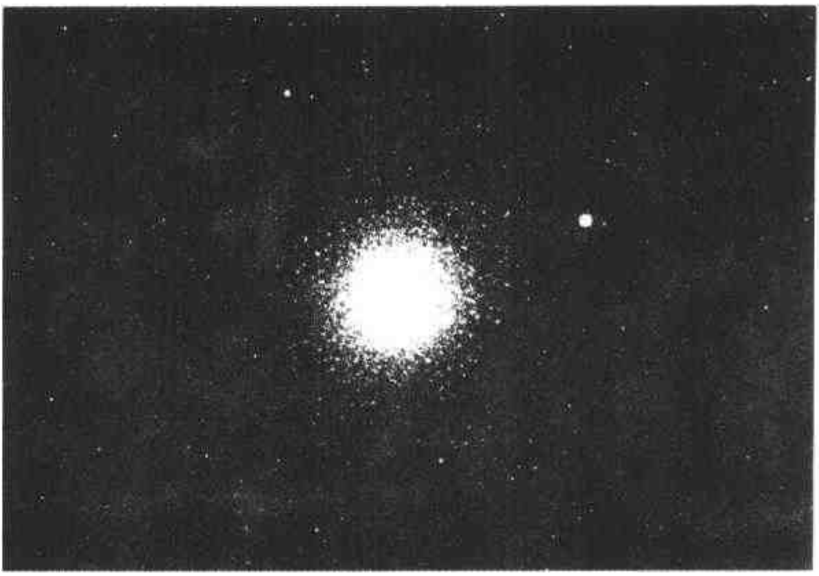
一般说来，随着自转中子星损失能量和自转变慢，脉冲星的周期是缓慢增长的。例如，蟹云脉冲星（这是最年轻的已知脉冲星）每天变慢百万分之一。但是，蟹云脉冲星和其他一些年轻脉冲星（最著名的是船帆座脉冲星）偶尔也会突然加速。对于船帆座脉冲星，这种突变引起脉冲星周期变短的量可能达到它通常每天变长的20倍，因而将中子星自转速率恢复到三星期之前的数值。这样的突变每过几年发生一次。

最可能的解释是，这些年轻脉冲星自转得如此之快，以致它们的形状发生畸变，而使赤道部分向外突出。当自转变慢时，引起这种突出的离心力减小。但在一段时间内，中子星的坚硬外壳（直径10公里的中子星，其硬壳厚度约1公里），即使在星体强大引力作用下，仍然保持其原来形状。经过一段时间，外壳的劲度被引力战胜，便在一次星震中破裂，重新调整其形状以配合脉冲星自转变慢后所对应的较小的赤道突出。这颇像花样滑冰者缩回两臂，它能使中子星短时间内自转得更快。

Global Oscillation Network Group **全球日震观测网**，见GONG。

globular cluster **球状星团**，密集成球形的恒星集合，含恒星数十万（甚至数百万）颗。我们银河系的球状星团散布在一个围绕银河系的球状晕中，它们含有银河系中一些最年老的恒星。虽然这个晕伸展为球形，使得球状星团不是聚集在天河平面附近，但大多数球状星团并不比我们离银河系中心更远。在其他星系中，也辨认出了类似的球状星团分布在类似的球状晕中。有些球状星团似乎有点儿扁平，但大多数几乎是完美的球状。

我们银河系中已知的球状星团大约有150个。在球状星团的中心，恒星的密集程度可能达到一立方秒差距空间内拥挤着多达1,000



球状星团 M15（又名 NGC 7078），位于飞马座方向。

颗恒星（作为比较，离太阳 1 秒差距之内根本没有其他恒星！）。球状星团的分布特点，它们的低金属性，以及它们所含恒星的年龄，全都说明它们是在 150 亿年或更长时间以前，大爆炸本身发生后不久，银河系还年轻时形成的。它们主要含星族 II 恒星，其中很多已经演化成了红巨星。

因为同一个球状星团中的全部恒星应该同时形成，而且它们与我们的距离实际上全都一样，所以根据恒星在赫－罗图上的真实分布（特别是红巨星组成的水平支偏离开主序的那一点），就能够推算星团中全部恒星的年龄和距离。这个方法对估计银河系大小十分重要，它给出最年老星团的年龄大约是 180 亿岁；任何圆满大爆炸理论得出的宇宙年龄必须大约等于或超过 200 亿岁，这样球状星团才来得及形成。

gluon 胶子，在夸克之间传达强相互作用（基本力之一），并将诸如质子和中子等粒子维系在一起的基本粒子。它是玻色子族的成员，其作用与光子在带电粒子间传达电磁力的作用相仿。

glycine 甘氨酸，生物体组织中的一种重要分子、蛋白质基本组成之一的氨基酸的一种。甘氨酸已经用波谱学方法在离银心约100秒差距的一个恒星形成区的星际物质中得到证认。这是银河系其他地方存在生命的有力证据。见霍伊尔，弗雷德、宇宙中的生命和胚种广布假说。

Goddard Space Flight Center (GSFC) 哥达德航天中心(GSFC)，美国宇航局设在马里兰州绿带的一个控制科学卫星和探空火箭的机构，也是卫星跟踪站的全球网。它以1926年研制成第一枚液体燃料火箭的罗伯特·哥达德（Robert Goddard，1882－1945）的姓氏命名。

Gödel，Kurt 戈德尔，库尔特 (1906－78)，生于奥地利的美国数学家，曾在普林斯顿与阿尔伯特·爱因斯坦共事，他求出的广义相对论方程式的解，描述了一个允许进行时间旅行的自转宇宙模型。

Gold，Thomas（'Tommy'） 戈德，托马斯（'汤米'）(1920－)，生于奥地利的美国物理学家，他是（1940年代）稳恒态假说的首创人之一，也是撰文提出脉冲星是快速自转中子星的第一人（1968年）。

Goldilocks effect 金发姑娘现象，见人择原理。

GONG GONG，全球日震观测网的英文首字母缩略词。该观测网是1990年代在六个大致均匀分布全球的观测站监测太阳行为的计划，其特定目的是监测太阳振动模式，通过日震学方法探测太阳内部结构。这与地震学家通过研究地震探明我们这颗行星结构十分相似。有了六个观测站，即使其中某个站由于任何原因暂停工作，也能每天连续24小时监测太阳；观测站址选在云量尽可能少的地区。

每个观测站由一台基于多普勒效应的自动仪器在太阳圆面上65,000个点同时测量太阳表面的运动情形。整个计划由美国国家太阳观测台负责实施，有15个国家61个研究机构的150多位科学家参与，它每天产出的数据多达1G（=1千兆=10亿）字节——作为比较，一本300页的书含有不到半兆字节的信息，所以GONG计划的每日数据量相当于2,000多本这样的书。一点也不奇怪，这些数据至今仍在处理之中，而且够人们再忙上好几年。不过，GONG计划已经帮助改进了太阳模型，证实了诸如太阳中心温度等的计算结果准确可靠。

Gould Belt 古尔德带，一条与银道面相交约16°、包含大量巨星的由恒星和气体构成的带。这条带最早由约翰·赫歇尔爵士（Sir John Herschel）在1847年注意到，后来天文学家古尔德（B.A.Gould）对它

做了研究，它是从我们银河系最近的一条旋臂分叉出来的一群年轻恒星。

Graham Smith, Francis 格雷厄姆-史密斯，弗兰西斯．见史密斯，弗兰西斯·格雷厄姆。

GRANAT 石榴号卫星，1989 年发射的一颗用于观测天空X射线和γ射线的俄罗斯卫星。

grand unified theories (GUTs) 大统一理论（GUTs），试图用同一组方程式描述全部粒子和力（基本相互作用）的物理性质的理论或模型的总称。这样一种尚未找到的理论有时也称为万物之理，或 TOE。有些言过其实的物理学家声称，他们的‘圣杯’是一个界定了一种 TOE 并能在一件 T 恤衫前面写下来的单一方程式。

这并非完全荒唐可笑的梦想，因为在统一物理学家对物质世界的描述方面已经取得了相当成就。就在 19 世纪中叶，电和磁还被看成是两种独立的事物，但詹姆斯·麦克斯韦研究证明它们实际上是现在叫做电磁现象的同一种基本相互作用的两个方面，可以用同一组方程式加以描述。到 20 世纪中叶前，这一描述又改进到包括了量子力学效应，并以量子电动力学（QED）形式成为物理学家提出过的最成功的理论之一，它以极高精度正确预言了诸如电子等带电粒子相互作用的性质。

QED 是一种规范理论，它的成功使它成了物理学家发展描述其他基本相互作用理论时效法的典型。QED 的精髓是，带电粒子，如电子和质子，通过交换光子而相互作用，而光子被看成是电磁场的量子。类似地，在核子中引起β衰变过程的弱相互作用，被认为是通过交换起着与光子相当作用的粒子来传达。这些粒子叫做中介矢量玻色子。

1960 年代，物理学家找到一种数学理论，将 QED 和弱相互作用结合到同一个数学模式中。这就是人称的弱电理论，它明确预言了中介矢量玻色子的性质。弱电理论要求存在三种中介矢量玻色子，分别命名为 W^+、W^- 和 Z^0，而且预言了它们的质量应该是多少。这些粒子在 1980 年代被发现，性质与理论预言的完全符合。

迈向 TOE 的下一步是把将粒子维系在原子核中的强核相互作用包括进来。这一点尚未做到，但作为中间步骤，物理学家在量子电动力学成功的基础上，已经发展了一种利用规范理论对强相互作用的描述。在这一描述中，强相互作用被视为产生于夸克之间的胶子（相当于 QED 中的光子）的交换。由于夸克的某些特性（相当于不同性质的电荷）已经有点异想天开地给予

了颜色的名称，所以这个理论有意模仿 QED 而被称为量子色动力学，或 QCD。

遗憾的是，QED 虽只要求一种光子，弱电理论在其计算中也只补充三种中介矢量玻色子，QCD 却要求八种不同的胶子，这使得该理论太复杂而难以处理。即便如此，找到一种包括 QCD 和弱电理论在内的粒子世界统一描述的现实前景是存在的；但远为困难的是寻求一个办法，以便将第四种基本相互作用——引力——包括进统一图像。尽管尚缺少引力，但可望将电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用三者结合成一体的图像，也常常称为 GUT，而把 TOE 这一名称保留给物理学家希望将来能包括引力在内的最终理论。

将引力统一到这一图像中之所以如此困难，是因为引力与其他三种自然力相比极其微弱。不过，在某种意义下，引力和电磁力同样简单和易于处理，因为它只要求一种传达粒子，即无质量的引力子。

将引力包括到 TOE 中的困难，可以通过考察四种基本力如何从一种统一的相互作用中‘分裂’出来而得到了解，物理学家认为这种‘分裂’应发生在宇宙由大爆炸中刚产生之时。光子与中介矢量玻色子和胶子的本质差别之一，是光子没有质量，其他粒子却有质量。光子因没有质量而容易被创造，且能够（原则上）在整个宇宙范围内传播。传达弱力和强力的玻色子则做不到这点。在一次相互作用中，‘创造’特定玻色子组所需要的质量是按照量子力学的测不准原理向真空借来的。但测不准原理指出，这些所谓的‘虚’粒子能够不时出现和随即消失，条件是它们不能存活过久以避免被宇宙‘注意’到它们的存在。这样一个粒子的质量越大，它在短暂生存期需要借用的能量越多，它也就必须越快地偿还债务。这就限制了玻色子在完成任务并消失之前运动所及的范围。

但是，当宇宙很年轻时，它浸泡在原始火球的能量大海之中。只要这一能量的密度足够高，即使是胶子和中介矢量玻色子也能从火球抽取足够能量而变成真实的粒子，并在火球中到处游荡。那时，它们真正与光子等效，而不仅仅是类似；所有基本相互作用也都是同样强和远程的作用。但是随着宇宙膨胀和冷却，它们逐步失去部分能耐，变成了我们今天看到的局限在原子核内部的短程粒子。

在这幅图像中，引力仍然独树一帜。根据目前的最好理论，当作为整体的宇宙温度为 10^{32} K 时，引力与所有其他力一样强。那正好是宇宙从一个奇点中浮现之后 10^{-43} 秒、我们今天看到的一切均包容在

一个大小不超过普朗克长度的体积中的时刻。这一情形的更现实处理方式是认为宇宙诞生时的年龄为10^{-43}秒，而且不存在引力曾经与其他力等同的‘以前’。暴涨被认为是正好在这一时刻之后发生的。

当宇宙开始平缓膨胀和冷却时，其他三种力仍然是统一的。但在开始之后10^{-36}秒、温度达到10^{28}K时，宇宙冷却到不能供养强力的载体，于是强力被局限在今天我们所见的距离以内。到10^{-12}秒时，温度为10^{15}K，宇宙冷却到无法维持中介矢量玻色子，于是弱力也变成了短程力。这是在整个宇宙的温度与地球上的粒子加速器迄今达到的最高能量相当的时期发生的——弱电理论之所以比 QCD 远为坚实可靠，这就是原因之一（因为能够与实验进行比较）。

由上述图像不难看出将引力包括到统一理论中的困难所在。然而有趣的是，还在发现强和弱两类相互作用之前，引力就已经与电磁力包括到一个统一理论中了！对统一理论的这一探讨，在两种‘附加’力发现之后很多年内基本上被人遗忘，而现在看来它算得上是长期追求万物之理征途上的领跑人。

广义相对论用四维时空的曲率来描述引力。阿尔伯特·爱因斯坦提出这一概念后不久，就发现用与爱因斯坦广义相对论方程式等效的方程式来描述五维曲率时，就得到我们熟知的、与麦克斯韦电磁场方程式并列的爱因斯坦理论中的场方程式。几年以后的 1920 年代，引力和电磁场这种五维形式的统一甚至推广到包括了量子效应，这就是后来以两位开创此项研究的先驱科学家姓氏命名的卡鲁扎－克莱因理论。

计算中涉及增加额外维度的所有理论现在都叫做卡鲁扎－克莱因理论，但这种处理方法长期无人采用，因为，要把卡鲁扎－克莱因理论最初获得成功后就发现了的更复杂的弱和强相互作用效应包括进来，它要求的就不是一个而是好几个‘额外’维度。如果说光子是第五维度中的涟漪，那么（粗略地说）Z 粒子就可以看成是第六维度中的涟漪，等等。

有两个原因使这类理论在 1980 年代再次流行。第一，构建大统一理论的尝试复杂到了令人厌烦的程度，其中有一些看来无论如何也必须增加额外维度才能进行下去。既然总归需要很多额外维度，为什么不用卡鲁扎－克莱因的办法呢？第二，数学物理学家开始对弦理论感兴趣，在弦理论看来，人们习惯视为点状粒子的实体可描述成一维‘弦’的细小片断（远远小于质子）。弦理论也只有在很多维度下才能‘工作’，但它给我们极为丰

厚的回报——引力。

理论家们以推导各种描述这类多维弦相互作用的方程式自娱，他们发现有些方程式描述的封闭弦环正好具有引力描述所要求的性质——弦环实际上就是引力子。

还没有人试图用这个理论描述引力，因为引力被认为是最难放进弦网中的基本相互作用；然而引力却自动从方程式中退出了。可惜无人懂得这是怎么发生的——关于这一理论的真正含义还没有形成物理见解——而弦理论也基本上仍是一种缺少物理根据的数学游戏。它就像是根本不知电和磁为何物的世界中的一位数学家发现了麦克斯韦方程式；方程式是很精致的，可它们说明了什么呢？

弦理论专家之一的迈克尔·格林（Michael Green）1986 年（当时他在伦敦的玛丽女王学院）在刊登于《科学美国人》的一篇文章(255 卷，3 期，44 页）中指出，在弦理论中，'首先得到的是细节；我们仍然在探索一种有关该理论的逻辑性的统一见解。例如，无质量引力子和超弦理论中的规范粒子的出现，似乎是偶然的，并且有些不可思议；而我们希望，在可靠地确立了统一原理之后，它们能从理论中自然地产生。'

'探索一种统一见解'的努力在 1990 年代继续。物理学家仍然希望找到一种万物之理，他们强烈感到这个万物之理必定涉及对一个多维宇宙的认识，而粒子大概能够理解为极小的弦。但要能够把对'生命、宇宙和万物'的答案写到T恤衫前面，他们还有很长的路要走。

另见基本力。

granulation **米粒组织**，用太阳望远镜看到的太阳表面的颗粒状图案，乃表层热气体对流所引起。单个'米粒'直径 300～1,500 公里，持续数分钟。

gravitational collapse **引力坍缩**，严格说，引力坍缩指任何物体因其各个组成部分之间的引力作用造成的坍缩。但是，天文学家不加任何限定条件使用引力坍缩一词时，他们通常是指大质量恒星不再能够通过内部核聚变产生能量来抗衡向内的引力、因而不能维持自身平衡的生命终结阶段。当恒星内部再也没有核燃料供燃烧时，星体就会发生引力坍缩。

失去支持的恒星外层在不到 1 秒钟的时间内迅速向内坍缩。这就是引力坍缩。它释放的引力能会将星体的大部分质量通过超新星爆发送入星际空间。恒星的核心部分继续坍缩，依剩余物质多寡而最终变成白矮星、中子星或黑洞。

gravitational constant **引力常数**，作为引力强度的一种量度的普适常数

G。认为 G 可能随时间（因宇宙膨胀）或随距离缓慢变化的观点未得到观测证实。

gravitational field 引力场，任一物体在空间任一点的引力影响用一个表示该点引力‘强度’的数来代表的一种观念。严格讲，一个物体的引力场延伸到整个宇宙，但实际上它的影响只在它的近邻区域才是显著的（尽管一个类星体或星系的‘近邻区域’可能延伸数百万秒差距）。

场论是詹姆斯·克拉克·麦克斯韦在 19 世纪最先提出来描述电磁现象的。20 世纪初阿尔伯特·爱因斯坦发展了他的引力场论（即广义相对论）。这两大场论的重要特点都是用一组场方程式描述场的性质，而这些方程式既确定了场在任一点的数值，又表明场的数值从一点到下一点的变化是平缓的，因而相邻点的强度接近相等。

在场论提出前，物理学家把粒子的相互作用看成是某种东西越过粒子之间的距离而直接作用于粒子——即所谓的超距作用。但场论则认为，作用都是局部现象，每个粒子在其自身所在地点与场发生相互作用；尽管场的整体结构依赖于全体粒子的性质和分布，场却能与每个粒子发生作用。

另见马赫原理。

gravitational force 万有引力，见引力场。

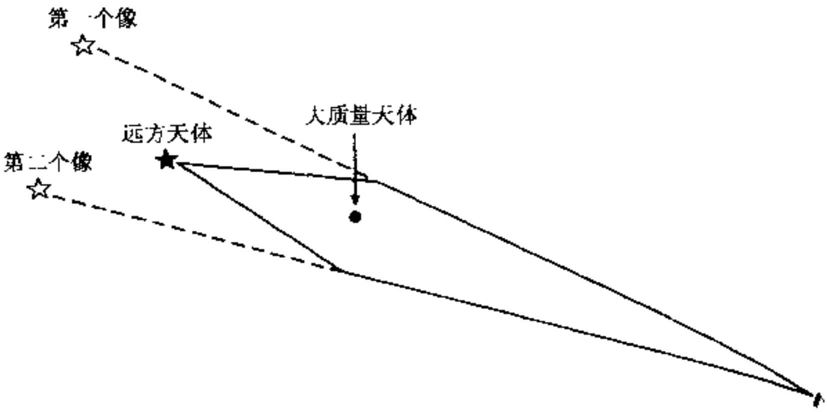
gravitational instability 引力不稳定性，物质云中小的不规则性由于引力作用而增长的趋势。在一个太空气体云中，密度稍稍高于平均值的任何区域，将吸引周围物质而变得更密；密度低于平均值的任何区域，将因物质流失到邻近的较稠密区而变得更稀薄。

gravitational lens 引力透镜，一个天体的引力使来自一个更远天体的光发生弯曲，使得更远天体的像在天文学家看来显得更亮，而形成的一种宇宙放大镜。

在有些情况下，起引力透镜作用的天体是一个星系，它对光的弯曲作用能产生诸如类星体或其他星系等更遥远天体的多重像。已经发现了好几个体系显示出这种效应；有些天文学家认为，除了这些显而易见的引力透镜实例外，多达2/3的全部已知类星体可能已经由于引力透镜效应而增加了亮度。

当我们银河系中一个暗天体正好在一较远恒星（如麦哲伦云中的一颗恒星）前面经过，使得它的像短暂增亮，就是较小规模的引力透镜效应。这类引力透镜实例已由好几个天文学家小组在 1993 年首次观测到，从而证实了我们银河系中存在致密暗天体（MACHO）。单个恒星造成的这种引力透镜有时叫做‘微透镜’。

引力透镜效应是阿尔伯特·爱



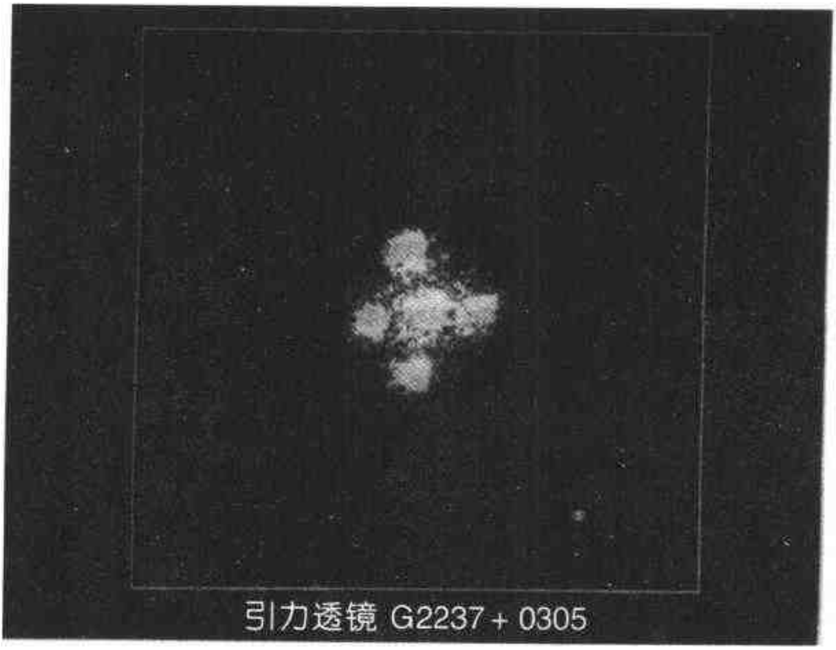
引力透镜。引力使光线弯曲从而造成远方天体多重像的大大夸张的示意说明。

因斯坦的广义相对论预言的一种现象，它所涉及的光线弯曲是由于时空在大质量天体近旁的畸变，迫使光线沿着弯曲空间中的短程线传播。对引力透镜效应的观测表明爱因斯坦的广义相对论确实是引力作用方式的正确描述。

研究引力透镜对遥远类星体光线的影响，也有助于解决关于宇宙年龄和宇宙当前膨胀速率的争论。来自爱沙尼亚塔尔图天文台和德国汉堡天文台的一个天文学家小组，从一个叫做 QSO 0957 + 561 的类星体的两个像，测量了光线通过中间星系附近两条路径时发生闪烁的时间差，他们在 1995 年发表的结果表明，哈勃常数值必须小于 70 公里每秒每百万秒差距。

引力透镜方法的巨大魅力，在于它是哈勃常数的一种‘干净’的量度，在于它处理的是非常遥远的天体。当遥远类星体闪烁时，你需要做的全部事情就是记下一个像中的闪烁，然后等待另一个像中对应的闪烁出现。因为光的传播速率是光速，你将能够得出绕过中间星系的第二条路径要远多少。

由于几何关系，到中间星系和到类星体本身的真实距离在计算中消去，因而时间延迟给出哈勃常数的直接量度。但你必须有耐心——对于 QSO 0957 + 561，延迟时间长达 423 天，而且你还得监测好几次闪烁以确信得到的结果是正确的。



引力透镜。引人入胜的引力透镜实例。在这个爱因斯坦十字中，四个角上的像全是同一个远方类星体的光被中央星系弯曲而形成的。

另见爱因斯坦十字、爱因斯坦环。

gravitational mass　引力质量，根据物体施加的万有引力定义的该物体所含的质量。引力质量与惯性质量完全等价，但还没有一个公认的理论解释为什么应该如此。见马赫原理。

gravitational radiation　引力辐射，有质量的物体按某些特定方式运动时在时空结构中引起的波动。与加速度和轨道运动相关联的引力辐射是阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论所预言的，并以光速传播。该理论认为，除了有强引力场的地域外，引力辐射完全可以忽略；虽然引力辐射还没有直接探测到，但它的存在已由 1980 年代的脉冲双星观测得到证实。

用一张拉紧的橡皮膜代表时空，并将物质想像为镶嵌在橡皮膜中的密实团块，就可以很清楚地说明引力辐射的起源。当一个团块振动时，它通过橡皮膜发出波动，这些波动将引起其他物质团块振动起来。这与振动的带电粒子以波的形

式发出电磁辐射，引起其他带电粒子振动起来很相似；但是引力辐射极难探测，因为它的强度只有电磁辐射的10^{38}分之一。

一种探测引力辐射的方法是在尽可能不受其他任何振动源影响的地方悬挂一根大物质棒，并用灵敏仪器进行监测，看它是否显示引力波经过时必然产生的干扰。1960和1970年代曾用巨大铝棒做过这类开创性实验，其灵敏度之高能够监测出实验室外面街上驶过的车辆引起的棒的振动，但这些实验都未能证认出引力辐射的'信号'。这并不奇怪，因为如果爱因斯坦理论正确，地球附近的任何引力辐射都过于微弱，无法产生可测知的棒振动。然而进行此类实验是值得的，通过这些实验可以弄明白是否还有爱因斯坦理论未曾预言的现象，也能探寻可用于更灵敏引力辐射探测器的新方法。这样的探测器目前正在建造之中，如果能按计划投入使用，而爱因斯坦理论是正确的话，则可望在21世纪初探测到引力波。

有两类引力辐射源应该能够在时空中引起强到足以用下一代仪器进行探测的波动。一类是大质量恒星的外层发生超新星爆发、内核坍缩成中子星或黑洞的事件。这种事件按人类时间尺度是极为稀罕的，但银河系中不时会发生可测知的超新星——平均大约每25年一次。当出现超新星时，它们应在很短时间内产生大量引力辐射——一次持续仅仅5微秒的爆发式辐射的能量与太阳全部质量相当（mc^2）（作为比较，地球在其绕太阳轨道上运动产生的引力辐射功率仅仅200瓦，相当于一枚普通灯泡输出的功率）。

即使这样的事件发生在1万秒差距之外的银河系中心附近，它产生的引力辐射中到达地球的部分在数量上相当于我们在大约100秒钟内从太阳接收到的整个波谱范围的电磁辐射能量。这样的爆发应该比较容易探测。但由于此类事件十分罕见，所以直接观测引力辐射的首选目标是探测脉冲双星那样由两颗互相绕转的极致密恒星组成的系统产生的引力辐射。

这样一个系统很像极端形式的举重运动员的杠铃。从绕转平面观察，它产生的引力波可以根据对同一平面内的圆环的影响而显现出来。物理学家称这种辐射为'四极辐射'。

四极辐射可借助电荷的辐射予以最简单的说明。一正一负的一对电荷构成一个偶极子，当这两个电荷运动（向内向外的振动，或互相绕转）时，它们产生偶极电磁辐射。偶极子尽管能以这种方式辐射，它整体上则是电中性的。

一对偶极子构成一个含两个正电荷和两个负电荷的四极子。当四

极子中的电荷以合适方式运动时(比如一个偶极子绕另一个转动),它们产生四极辐射。然而与电荷不同的是,质量只有一种'符号',所以没有与偶极电磁辐射对应的引力辐射。互相绕转的两个质量的行为类似一对偶极子,它们产生的引力辐射可通过对前面提到的那个圆环的影响而显现出来。

当引力波经过时,圆环在一个方向上被压缩而同时又在与之成直角的另一方向上被拉伸,使它变形为一个椭圆环。然后反过来,先恢复到起初的圆形,随即变形为与第一个椭圆垂直的椭圆。这种在成直角的两个方向的交替压缩和拉伸是四极辐射的特有性质。要探测这样的辐射,你只需要用摆放成直角形'L'的三个质量,来监测引力波经过时引起的时空畸变。当然你还需要一些很精密的测量仪器。

新一代引力辐射探测器打算采用的办法,是将三个作为试验质量的重物摆放在数公里长的地下真空管道中。试验质量表面抛光成反射镜面,并用激光束进行监测。激光束在真空管道中射向镜面并反射,从探测器两臂出来的激光束会聚到一台干涉仪,后者利用激光的波长测量出试验质量位置的变化。典型设计的管道长 3 公里,每条管道两端的试验质量之间距离变化的测量精度高达 10^{-18} 米——小于一个原子核的直径。整个实验很像 19 世纪初试图检测地球相对于以太的运动但以失败告终的迈克耳孙-莫雷实验。

更大规模的类似探测系统最终有可能建造在空间或月球上。目前,作为准备,天文学家对遥远太空飞行器(如旅行者空间探测器)位置进行检查,他们测量飞行器无线电信号的多普勒效应,看是否受到引力波的干扰。但至今尚未观测到这种干扰。

所有这些探测引力辐射的实验计划很可能由一种完全不同的办法取代。根据暴涨理论的某些版本,在大爆炸之后约 30 万年、宇宙还很年轻、物质与背景辐射之间发生最后的直接相互作用时,引力波和物质之间的相互作用应该已经在宇宙物质分布中造成了一种特有的结构。果真如此,这一结构就应该作为化石遗迹保存在背景辐射自身之中,因而有可能在几年之内,在使用诸如COBE卫星仪器和地面探测器所做的观测得到改进后,而被探测到。背景辐射中的涟漪可能包含了关于时空结构中涟漪的信息。

补充读物:基普·桑尼著《黑洞和时间翘曲》[19]。

gravitational radius 引力半径,见史瓦西半径。

gravitational redshift 引力红移,见红移。

gravitational time dilation 引力时间膨胀，广义相对论预言的由引力场引起的时钟变慢现象。见红移。

graviton 引力子，量子理论要求在两个具有质量的物体之间传达引力的假想粒子。它是一种玻色子，对引力所起的作用相当于光子在两个带电粒子间对电磁力的作用。弦理论的某些版本能自然产生引力子。

gravity 引力，存在于任意两个具有质量的物体之间的吸引力。这是物理学家已知的四种基本力的一种。

艾萨克·牛顿在17世纪就认识到，宇宙中任何地方的一切物体的引力作用方式是相同的（即引力遵循一条普适定律），且两物体之间的吸引力与它们的质量的乘积成正比、与它们的距离的平方成反比——即著名的'引力的平方反比律'。这条定律既能解释苹果从树上坠落、又能解释月球绕地球的轨道和行星绕太阳的轨道的本质。

阿尔伯特·爱因斯坦在20世纪初将平方反比律解释成时空因物质存在而发生畸变的结果。他的广义相对论因而比牛顿的引力理论走得更远，它包含了牛顿理论在内。

引力是自然界四种力中最弱的，但由于物质团块中所有单个粒子的引力可以累加，也由于引力有很长（原则上是无限）的作用程，聚集在一起的大量粒子的总效果可以极为强大。地球的引力能保持住地面上的一切，太阳的引力能将行星维持在它们的轨道上，银河系中全部天体的引力能将恒星自身维持在它们的轨道上。在极端情况下，引力可以使时空坍缩成为黑洞。除了创世之后的最初瞬间（即暴涨时期），引力是描述整体宇宙演化时必须考虑的惟一的力。

great attractor 巨引源，位于长蛇和半人马星座方向（但远远超出它们所在的地方）的一大团质量。

利用多普勒效应对星系运动特征的研究表明，我们的银河系、本星系群和本超星系团以及我们所在宇宙部分中的其他星系团，都在川流不息地朝这个巨引源的方向运动，这一运动叠加在它们作为膨胀宇宙一部分的运动之上。我们银河系在这个方向上速率约600公里每秒的运动，也由背景辐射测量得到证实。在我们运动前方的背景辐射稍稍热些，后方的背景辐射稍稍冷些，因为我们是'迎头'闯入前方的辐射和退离后方的辐射。

如果认为我们运动前方约4,000万秒差距之外有一大团与上百万个类似银河系的星系相当的质量以其引力拖曳我们，前面提到的所有观测结果便能得到解释。尽管看来真有可能是聚集在合适地点的大批星系团组成了巨引源，研究这一大团质量却很困难，因为它基本上被银河系中的尘埃遮挡了。不

过，如果观测结果都可靠，那么它们就是强有力的证据，表明宇宙的总密度十分接近使宇宙‘闭合’所需的临界值（见宇宙模型、奥米伽点）。

Great Wall **巨壁**，见大尺度结构。

Green Bank Telescope **格林班克望远镜**，坐落在美国西弗吉尼亚州格林班克（绿岸）的一台孔径 91 米的射电望远镜，1962 年投入使用，但在 1988 年倒塌。代替它的是孔径 100 米的望远镜，属世界最大全可动抛物面天线之列，1995 年开始运转。

greenhouse effect **温室效应**，行星的大气在行星表面附近捕捉热量而使表面比该行星没有大气时更温暖的过程。出现这种效应是因为从太阳来的辐射（主要是可见光）通过大气并对下边的表面加温。温暖的表面把能量辐射回空间，但这一外出辐射的波长比进人的太阳辐射波长长得多——在红外波段而不是可见光。外出的红外辐射被大气中的各种气体部分吸收，温暖气体本身再辐射能量，其中部分向上透过大气进入空间，部分返回行星表面维持其温暖。

温室效应的巨大作用可以通过比较地球和月球表面的温度得到最好的说明。在没有空气的月球上，黑暗寒冷的半球和日照炎热的半球平均起来的温度大约是 -18℃。地球和月球到太阳的距离实质上相同，如果地球也是无空气的岩石球，它的温度也应该是 -18℃，但实际上地球整个表面的平均温度约为 15℃。温室效应使我们的行星比没有温室效应时要温暖摄氏 33 度左右。

但是，温室效应却不是保持温室内部温暖的那个过程！在一座温室的内部，空气由地面加温，地面本身则由太阳加温。热空气总想经由对流上升，但它做不到，因为温室的玻璃屋顶阻碍了它。所以热空气停留在温室内部因而变得更热，但一墙之隔的温室外部的空气则能够经由对流上升，让较冷的空气进入取代它的位置。

Greenstein, Jesse Leonard **格林斯坦，杰西·伦纳德**（1909 - ），美国天文学家（出生在纽约市），射电天文学主要开创人之一，曾参与证认第一颗类星体 3C48 的红移。

Greenwich Mean Time（GMT） **格林尼治平时（GMT）**，利用太阳在天空中的视运动定义的本初子午线（即 0°子午线）上的时间。本初子午线通过伦敦的格林尼治——格林尼治皇家天文台最初的台址。

Gregorian calendar **格雷果里历**，1582 年由教皇格雷果里十三世提出、今天全球广泛采用的历法。它取代了精度较低的儒略历。

由于地球绕太阳运行一周的时间（一年）不正好是整数天，任何

规定每年含相同整数天的历法必将逐渐变得与季节的步调不一致。格雷果里历解决这个问题的办法是，以公元纪年为准，凡能被4整除的非整百的年份，和能被400整除的整百年份，均增加一天而成为闰年。于是，2000年是闰年，但1900年和2100年都不是闰年。普通的'平'年含365天，所以闰年含366天。

格雷果里历在400年期间给出的平均年长度是365.2425天，与真正的平均年长度365.2422天的接近程度，对大多数计时目的来说是足够了。它的'误差'累加起来1,000年也只有0.3天，必要时（大概在公元4400年前后）可以删去一个闰日来加以改正。

1582年格雷果里历在天主教国家推行时，旧历已经大大超前，必须删掉10天才能与季节同步，于是把旧历10月4日星期四后的那天改成新历的10月15日星期五。在不列颠和世界其他一些地方，直到1752年9月才进行历法改革，那时已经需要删掉11天才能与新历一致，所以9月2日后的那天变成了9月14日。在俄罗斯，旧历一直使用到1917年革命之后，尽管革命发生日期是格雷果里历的11月7日，按旧历却是10月25日，所以那次革命有时叫做十月革命。

儒略历最初把元旦规定在3月25日，为的是要与春分一致。到1582年时，儒略历已经远远跑到前头，致使春分落到了3月11日；格雷果里改革历法后，春分移到3月21日，但格雷果里历规定1月1日为元旦。所以几百年来，每年都有一些日子究竟属于哪个年份（更不用说哪个日期或哪个月份），不同国家的记载是不一样的。

犹太纪年从想像中发生在公元前3761年的创世算起，伊斯兰教纪元从穆罕默德逃亡的公元622年算起。

Gregorian telescope 格雷果里望远镜，1663年詹姆斯·格雷果里设计的一种反射望远镜，它采用两块曲面镜，一块是抛物面镜，另一块是椭球面镜。格雷果里还未来得及磨制出精度足以建造望远镜的镜面，他的设计就被更简单的牛顿望远镜取代。

group sunspot number 太阳黑子群数，见太阳黑子数。

Gum nebula 古姆星云，横跨船帆和船尾两个南天星座的一个巨大发射星云，其角直径约35度，距离我们约400秒差距，线直径约250秒差距。它是大约100万年前从地球上应该看得见的一次超新星爆发造成的。

Guth, Alan Harvey 古斯，艾伦·哈维（1947－），提出暴涨概念、并把

宇宙描绘成著名的‘最后的免费午餐’的美国物理学家。

古斯循着一条传统道路于1970年代成为从事研究的物理学家。1947年2月27日他出生在新泽西州的布伦斯威克，三年后随家庭迁往新泽西州的高地公园，后在那里上中学。1964年古斯入麻省理工学院，先后获得物理学士和硕士学位，1972年完成理论粒子物理学专业的博士学业。那个时候，有才能的年轻物理学家大大多过可提供的永久性职务，所以古斯和许多同龄人一样，从事过好几项短期工作，先是在普林斯顿大学，然后是哥伦比亚大学，后又转往康奈尔大学。在康奈尔期间，1979年春天，古斯听了罗伯特·狄克的一个关于平坦性问题的报告。

1979年10月，古斯又一次调换工作，前往斯坦福直线加速器中心，在那里呆了一年。古斯听了狄克的报告后一直在专攻宇宙学；1979年12月6日，星期四，在同哈佛的物理学家西德尼·科尔曼讨论后，一切都在他头脑中明确了。那个晚上古斯在家里工作到深夜，12月7日凌晨已形成了他那关于暴涨的基本思想，他立即懂得了它的重要意义。同一个晚上他写的笔记中，有一小段四周加上了双线框共五行的文字，其粗黑字体标题是‘**惊人的悟觉**’。

两星期后，仍在学习宇宙学的古斯听说了视界问题，马上领悟到他的‘惊人的悟觉’也能解决这个问题。他的第一个暴涨模型发表于1981年，但在这之前暴涨概念早已像燎原大火在天文学界传播开来。古斯也因其卓越洞察力而被聘为麻省理工学院物理系的客座副教授，1981年6月转为正式副教授。他在那里工作至今，现在是维克多·魏斯科普夫（Victor F.Weisskopf）物理讲座的教授。

古斯继续研究暴涨的各种推断和结论，其中包括存在婴儿宇宙的可能性。古斯比他在获得他的惊人悟觉时所意识到的更为幸运——当时苏联的宇宙学家也在循着类似路线进行研究，其中有些人，特别是安得列·林德，从1980年代初就一直秘密地从事发展和推广暴涨的概念。

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]。

H

H_0 H_0，见哈勃常数。

HI region **中性氢区**，含有大量以中性原子形态为主、可能杂有少量分子氢的普通氢气体的空间区域。由于原子为电中性，这种云有时也叫做 H^0 区。

氢是宇宙中最普通的元素，是形成恒星的物质的主体。一个典型中性氢区跨度约 5 秒差距，可能含有 50 倍于我们太阳的物质，温度大约开氏 70 度（中性氢云的典型温度范围大致是 25K ~ 250K）。这些云太冷，不能辐射可见光，但它们很容易用射电天文学方法证认，因为中性氢能在射电波段产生波长 21 厘米的独特辐射。由这根射电'谱线'测出运动的多普勒效应，天文学家得以计算这些氢云是如何运动的。

虽然按日常标准中性氢区中原子的密度很低——每立方厘米只有 50 个原子——但在我们银河系和其他盘状星系的旋臂中，这些云总共占有恒星之间质量的大约一半。总的说来，在一个类似银河系的星系中，星际物质的质量大约是全部明亮恒星质量的 1/10。

HII region **电离氢区**，含有大量电离氢气体的空间区域——那里的中性氢原子已经分裂为构成它们的核（即单个的质子）和电子。由于电离原子带正电荷，这种云有时也叫做 H^+ 区。

使这些云中的氢电离的能量来自镶嵌在电离氢区中的高温年轻恒星。这些恒星是由太空气体云形成的，它们在波谱的紫外波段产生其光子能量足以将电子从原子剥离的强辐射。电离氢区本身大致呈球形，大小可达到 200 秒差距左右，其内部的密度大约是中性氢区的 1,000 倍，温度范围约从 1,000K 到 10,000K。

这些云中的高温物质在红外、紫外和光学波段辐射，它们在天文照片上的影像色彩极为丰富——猎户座星云就是这样一个围绕恒星育儿室的色彩鲜明的物质云的典型例子。云中的自由电子也能辐射，那是它们与磁场相互作用时发出的射电波。

由于最大的电离氢区看来全部大小相同，所以已经有人利用其他星系中电离氢区视大小的测量来估计星系的距离——电离氢区看起来越小，星系必定离我们越远。

hadron **强子**，通过强力（见基本力）相互作用的任何种类基本粒

子，所有强子都由夸克构成；质子和中子都是强子族的成员，但强子族还包括一些质量更大的不稳定粒子。见重子。

hadron era　强子时代，大爆炸早期阶段中，从奇点爆发后 10^{-35} ~ 10^{-6} 秒，宇宙行为由强核相互作用，即由作用于强子之间的力所支配的一段时间。那时的条件如此极端，以致单个的强子不能存在，宇宙中大部分物质的形态是浓密的夸克和胶子混合物。又称为夸克时代。

Hakucho　天鹅号卫星，1979 年发射的第一颗日本X射线天文卫星，它在 5 年运行期间研究了 X 射线脉冲星和 X 射线爆发体。

Hale, George Ellery　海尔，乔治·埃勒里（1868 – 1938），在制造改变了 20 世纪宇宙研究面貌的大望远镜方面起了很大作用的美国天文学家。

海尔 1868 年 6 月 29 日出生在芝加哥，是一位制造电梯的富有实业家的儿子。早期在父亲鼓励下曾对设计和制造仪器感兴趣，但后来受他的邻居、一位热心的天文爱好者谢尔本内·W·伯恩汉（Sherburne W. Burnham）的影响而转向了天文学。海尔入麻省理工学院学习物理，1890 年毕业，有两年时间他管理一座由父亲出资、他亲自指导建造的太阳观象台。1892 年，海尔到芝加哥大学工作，1895 ~ 1905 年任该大学的叶凯士天文台台长。叶凯士天文台的中心设备是一具由查尔斯·T. 叶凯士（Charles T. Yerkes）捐款（多亏海尔的魅力）建造的 40 英寸（1 米）折射望远镜（今天仍是世界最大的折射望远镜）。

海尔总是不断地寻求建造更大更好望远镜的途径，他极善于从叶凯士那样的人物获得捐款。为了给他父亲在 1896 年获得的一块 60 英寸（1.5 米）反射镜寻找一个安放地，他说服华盛顿卡内基基金会提供财务支持在加利福尼亚建立了威尔逊山天文台，1904 年他成为该台台长，1908 年新的 1.5 米反射望远镜投入使用，1918 年又增加了 100 英寸（2.5 米）的胡克望远镜（以捐款人姓氏命名），后者就是埃德温·哈勃及其同事发现宇宙膨胀（见红移）所用的仪器，在 30 年内一直是同类仪器中的世界最大者。

1923 年，海尔因劳累过度患神经衰弱症，辞去了威尔逊山天文台台长职务。但他以 55 岁年龄非正式退休后，在帕萨迪纳他的住所附近建了一座小天文台，并发明了一种研究太阳的新型分光镜。后来他试图集资在南半球建一座天文台，却因神经衰弱再次发作而失败。不久后他带着另一项计划卷土重来，游说洛克菲勒基金会资助建造一台孔径 200 英寸（5 米）的望

远镜，并于 1926 年为该计划获得 600 万美元捐款。望远镜的建成花费了将近 20 年，它成为起初由加州理工学院管理的帕洛马山天文台的中心设备。海尔早在望远镜建成很久前的 1938 年 2 月 21 日逝世于帕萨迪纳，但该仪器 1948 年投入使用时仍命名为海尔望远镜以资纪念。

虽然海尔将主要以建造了三座大天文台的功绩留名于世，但他也亲自进行观测。他对天文学所做的贡献，包括 1905 年发现太阳黑子比太阳表面上周围区域更冷而不是更热；1908 年（用光谱学方法）发现太阳黑子的磁场；以及 1919 年与亚当斯（W.S.Adams）合作发现太阳磁活动约 22 年的‘双重黑子’周期。他还创办了最重要的天文学术刊物之一《天体物理学报》，也是将斯鲁普工学院改造成加州理工学院的关键人物。

Hale Observatories　海尔天文台，1970 年代对帕洛马山天文台、威尔逊山天文台、大熊湖太阳观测台和拉斯康帕纳斯天文台组成的一群天文台的总称。

Hale telescope　海尔望远镜，帕洛马山天文台的孔径 5 米（200 英寸）的反射望远镜，它在 1947 年建成后的 30 年内一直是世界最大的望远镜。

half life　半衰期，放射性物质样品中正好一半原子经历放射衰变所需要的时间。这是量子理论奇妙特性之一：放射衰变是一种遵循统计规律的纯粹概率过程。虽然不同的放射性同位素具有不同的半衰期，但对任一特定放射性同位素，如果开始时有 10,000 个原子，那么一个半衰期后将有 5,000 个原子经历了衰变，下一个半衰期后另外 2,500 个原子经历了衰变，再经过一个半衰期后又有 1,250 个原子衰变，等等。最初的 10,000 个原子（严格说应该是原子核）中，任何一个既可能立即衰变，也可能稳坐钓鱼台直到其他 9,999 个全部衰变后再仿效之。但事先却无法知道哪些原子先衰变，哪些后衰变，事实上原子自己也不‘知道’它们的命运。

半衰期也用于描述不稳定粒子的衰变——比如，β 衰变中的中子半衰期刚刚超过 10 分钟。放射性粒子的平均寿命总是比半衰期长一些，因为尽管有一半粒子总是在第一个半衰期内衰变，但有些粒子却能坚持好几个半衰期之后才衰变；不过半衰期可以看成是放射性粒子或原子核的象征性寿命。

Halley, Edmond　哈雷，埃德蒙（1656 – 1742），英国天文学家、数学家和物理学家，是他领悟到现在以他的姓氏命名的那颗彗星是在遵循艾萨克·牛顿发现的万有引力定律的引力作用下周期性地围绕太阳运

动。他还编制了一部星表，利用历史记录发现了一些恒星的自行，倡议了一项导致更精确估计地球到太阳的距离（天文单位）的研究计划。他是1720年继约翰·弗兰斯提德之后的第二位皇家天文官，并任该职直至逝世。

哈雷于1656年11月8日出生在伦敦附近的哈格顿，是一位富商的儿子。他曾就读于牛津大学，在那里发表了三篇天文研究论文，还写了一本关于开普勒定律的书，但没有获得学位便于1676年离开了。不过这并未给他的科学生涯带来不利影响，因为他的书已经引起皇家天文官弗兰斯提德的注意，后者对他开创的到南大西洋圣赫勒拿岛观测并编制一部南半球恒星表的计划给予鼓励。该计划费时两年，未完全达到预期目标，但哈雷在1678年回到英国后立即被选为皇家学会特别会员，时年22岁。

在以后的30年中，哈雷的经历相当奇特，他曾经遍游欧洲，为的是会见其他科学家，担任过两年柴郡造币厂副审计官，皇家海军军舰（《情人号》）指挥官，并多次出任政府派遣的外交特使。哈雷还从事过气象学和磁学的开创性研究，是说服牛顿发表其鸿篇巨著《原



哈雷彗星。1910年摄于南非好望角皇家天文台。

理》的关键人物——他甚至支付了该书的出版费用，虽然这并非完全的利他主义，因为他也从中获得了些许利润。1703年他受聘为他曾于1676年未获学位就离开了的牛津大学的几何学教授。于是，年近50岁的他终于安定下来开始比较正常的学术生涯了。

哈雷最重要的天文工作是对彗星的研究。他计算了24颗彗星的轨道，领悟到1456、1531、1607和1682年看到的彗星是同一颗彗星的来访。他预言该彗星将在1758年再度回归，而它果真准时（哈雷去世16年后）回归了，既进一步确立了他个人的声望，同时也证实了牛顿引力定律的威力。

从1710年起，哈雷还对托勒密的著作进行过仔细研究，其中包括一部原先由伊巴谷编制的公元前二世纪的星表。他发现该星表给出的一些恒星的位置与这些星在18世纪的位置有显著差别，他领悟到这些星在近2,000年的时间内在天空上移动了。

1679年哈雷提出金星通过日面的现象（凌日）可以借助视差方法用来测定到太阳的距离。1716年他陈述了观测将于1761和1769年出现的金星凌日的详细建议。哈雷去世多年后，这两次凌日按照他期望的那样进行了观测并用于测定日地距离。62个观测站监测了1761年的凌日，大致相同数目的观测站监测了第二次凌日。对全部数据进行分析后，得出地球到太阳的距离为1.53亿公里，与现代天文单位1.496亿公里符合极好。这样，哈雷在他享年85岁、于1742年1月14日在格林尼治去世27年后做出了他对天文学最后一项贡献。

Halley's Comet 哈雷彗星，在离太阳35天文单位（海王星轨道外）到0.6AU（水星和金星轨道之间）范围内大约每76年绕太阳运行一周的一颗彗星。当它紧密接近太阳时能从地球看见，埃德蒙·哈雷领悟到1531、1607和1682年出现的三颗彗星是回归到太阳系内区的同一颗彗星，并正确预言它将在1758年再次出现，故以哈雷的姓氏命名。（见186页的照片。）

halo 晕，最初，晕是指盘状星系（类似我们银河系）周围包含球状星团和一些特殊恒星的一个球形区域。后来，晕扩展为以暗物质的引力影响占支配地位、将星系包容在内的更大的球形区域。

我们银河系的亮晕具有大致与银河系盘相同的直径（约3万秒差距），含有热气体以及球状星团恒星和其他年老的星族II恒星。这些恒星被认为是在银河系年轻时，大量原始氢和氦沉降到构成今天所见天河的盘体中之前形成的。其他盘状星系周围也能看到类似的晕。

对星系自转特性的研究表明存在一个大得多的暗晕。总的说来，为了解释观测事实，一个盘状星系的物质数量大约需要达到我们看到的明亮恒星形态物质的 10 倍，所以类似银河系的星系的 90% 质量必然是分布在广袤暗晕中的暗物质。有些暗物质可能是叫做褐矮星的很暗的恒星，它们是由与银河系中明亮恒星相同的物质（重子物质）构成的，这些天体与其说像太阳，还不如说更像木星这样的行星。至少在我们银河系中一些这类天体存在的证据，已从它们对更遥远恒星的光造成的引力透镜效应中获得。但是，暗晕中的部分物质却可能是大爆炸遗留下来的叫做 WIMP 的非重子形态粒子。

1994 年，美国基特峰国家天文台报道首次在一个遥远星系周围发现代表暗晕的黯淡的恒星光辉。这证实暗晕确实存在，但还需要更多的观测，以便确定这些恒星究竟是拥有暗晕的全部质量，抑或它们身处 WIMP 的汪洋大海之中。

天文学家有时也用日常意义下的晕这一名词称呼天体周围的光环。

Hanbury-Brown，Robert 汉伯利－布朗，罗伯特（1916－），出生于印度阿鲁凡卡都的英国射电天文学先驱，他在第二次世界大战期间研究雷达，发展了使用射电望远镜的干涉测量技术。

Harvard College Observatory 哈佛大学天文台，见史密松天体物理台。

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics（CfA） 哈佛－史密松天体物理中心（CfA），见史密松天体物理台。

Hawking，Stephen William 霍金，斯蒂芬·威廉（1942－），为认识黑洞和宇宙起源做出巨大贡献的英国理论物理学家。霍金是一位研究热带病的医生的儿子，他母亲怀孕时为躲避大规模空袭前往牛津，就在那里霍金出生于 1942 年 1 月 8 日，



斯蒂芬·霍金（生于 1942 年）。

正好是伽利略的300年忌日（霍金很喜欢提到这点）。他刚满两周岁，母亲就带他回到海格特的家中；1950年举家迁往圣阿尔班斯，霍金在那里就读于当地的私立中学，然后入牛津学习物理学，1962年毕业，即转往剑桥攻读理论物理学博士学位。

学生时代的霍金才气焕发，几乎不费吹灰之力就轻松获得头等学位（他后来说他在牛津的三年花在学习上的时间大概是1,000小时，平均每天一小时），但他毕业后开始转向研究工作时却颇感困难。霍金在1962年的下半年病了，当诊断他得的是运动神经细胞病（也叫做ALS病；控制随意肌活动的神经的进行性退化症）时，他的第一反应是对治愈不抱希望。但他决定完成博士学业，他全身心投入研究，就像他后来写的'生平第一次努力工作，我惊奇地发现我竟喜欢上它了'（斯·威·霍金著《我的简历》[37]，非公开发行的小册子）。

虽然霍金的病仍在恶化，但他继续拼命工作，并对宇宙学和天体物理学做出一连串重要贡献，还写了一本有关他的工作的最畅销书。

霍金的第一项重要发现是关于大爆炸的本质。1960年代中叶，当时在伦敦工作的理论家罗杰·彭洛斯曾经证明，向一个黑洞坠落的物质必然陷进一个叫做奇点的数学点，即不可能在黑洞视界之内围绕它运动而不陷进奇点。霍金反过来进行类似计算，证明在膨胀宇宙中，一切东西必然是在时间开始的那一刻来自一个奇点。他后来又研究了黑洞可能将能量泄漏给宇宙，从而收缩直至能量剧增而爆炸的途径。这项研究包含了相对论、量子理论和热力学的混合概念，并且表明任何黑洞有一个特征温度。

在以后的科研生涯中，霍金试图找到一种量子引力理论，将四种自然力（强和弱核相互作用、电磁力和引力本身）统一成一个'万物之理'。这项研究的成就很有限，但却指出我们的宇宙可能是存在于时空中的一个在空间和时间上均无'边界'的自足的'泡'（这种无边界条件毕竟是避免大爆炸时出现奇点的一个办法）。由此引出一个相关的可能性是，我们的宇宙是众多相互沟通的泡中的一个（见婴儿宇宙）。

补充读物：斯蒂芬·霍金著《时间简史》[38]；迈克尔·怀特和约翰·格里宾著《斯蒂芬·霍金：科学传记》[39]。

Hawking radiation　霍金辐射，从黑洞表面附近发出的辐射。这一辐射对应着黑洞的能量损失，而对于小黑洞，能量损失可使它衰退直至消失。每秒钟辐射的能量只取决于黑洞的质量（较小的黑洞辐射的能量

较多），从而使每个黑洞有着特征温度。

要理解这一过程如何发生，最简单办法是从量子理论的测不准原理来考察。测不准原理的一种说法是，在很短的一段时间间隔内，宇宙自身无法肯定每一个细小空间体积中究竟有多少能量。由于这一不确定性，粒子对（如一个电子和它的反物质对应物正电子）能够从空无一物中突然产生，条件是它们迅即互相湮灭而重归消失。

这个过程被认为在'虚无一物'的空间中的一切地方始终进行着。当它正好发生在一个黑洞的视界外面时，粒子对的两个粒子中，一个可能被黑洞俘获，另一个则逃进外边的宇宙。使粒子成为真实粒子所需的能量实际上来自黑洞的引力场——但黑洞制造了两个粒子而仅仅吞食了一个，所以它总共丢失了相当于一个粒子的能量，这一能量被逃跑的粒子带走，故黑洞的质量减少了与此相当的量。

对于由死亡恒星形成的普通黑洞，上述影响是无关紧要的，因为它们从周围吞食的其他粒子多于它创造出来然后又通过霍金辐射损失的质量。但如果大爆炸产生了小黑洞，它们将比吞食新物质更快地损失质量，它们将蒸发并最终在一阵强大辐射中消失。一个拥有我们太阳质量的黑洞，其温度仅仅开氏1千万分之一度；但一个具有质子质量的黑洞，其温度将是开氏1,200亿度。

大爆炸中形成的任何这种小黑洞，今天应该爆炸而产生大量X射线和γ射线。当前天文学中尚未被普遍接受的推测之一，就是认为γ射线'爆发体'（见γ射线天文学）可能是这种小黑洞死亡时挣扎的表现。

Hayashi, Chushiro　林忠四郎(1920－)，日本天体物理学家，他在1950年代对大爆炸理论和1960年代对恒星演化研究均做出了贡献。年轻恒星在向赫－罗图的主序接近时的演化迹程就是以他的姓氏命名的。

Hayashi track　林忠四郎迹程，见林忠四郎。

Haystack Observatory　海斯塔克天文台，位于美国马萨诸塞州波士顿西北的一台36.6米抛物面射电望远镜，由麻省理工学院管理，主要观测6～8毫米的短波射电。它建于1960年代，初期用于月球和类地行星的雷达探测。

HDE 226868　HDE 226868，见天鹅座X－1。

heat death of the Universe　宇宙的热寂，见时间之箭。

heavy elements　重元素，天文学中除氢和氦以外的任何元素。天文学家常常把所有重元素称为'金属'，尽管其中包含了碳和氧这样的非金

属元素。

所有重元素都是由原始氢和氦通过恒星内部的聚变反应产生的（见 B^2FH），它们经由恒星爆发扩散到空间（见超新星），为形成重元素含量更高的后代恒星和行星系提供原材料。恒星中重元素丰度（即恒星的'金属性'）的不同象征着恒星的相对年龄，是了解恒星和星系演化的线索。在银晕的球状星团中找到的我们银河系内最年老恒星，其重元素相对丰度比太阳这类较年轻恒星低得多，有些低到只及太阳金属性的0.2%。

另见宇宙丰度。

heavy hydrogen　重氢，见氘。

Heinz soup parameter　海因兹汤参数，见基本力。

Heisenberg, Werner Karl　海森伯，魏纳·卡尔（1901－76），德国物理学家，1901年12月5日出生在维尔茨堡，他对量子理论的发展贡献良多，最著名的是他1927年提出并给予系统性陈述的测不准原理。

helioseismology　日震学，通过研究太阳表面运动性质来探索太阳内部结构的方法，它与地震学家根据地震时地壳的运动性质来了解地球内部结构相似。

能够用来探测太阳内部的太阳表面振动是加州理工学院的科学家们在1960年代偶然发现的，他们本来打算研究太阳表面热气体的无规（或混沌）运动。但是，直到1980年代，当发展了细致分析这些振动所需要的技术，这个发现才获得了应用。

所有这些研究，包括发现本身，都依赖于多普勒效应的测量。这个效应使太阳表面上离我们而去的小块发来的光产生微小的红移，也使太阳表面上向着我们面来的小块发来的光产生微小的蓝移。当太阳表面的某个小块在里外方向振动时，该小块发来的光的多普勒效应便发生有韵律和规则的变化。测量这个效应所需仪器的精度从最初的发现情况可略见一斑——加州理工学院的研究小组发现，太阳表面小块的振动是断断续续的，它大致半小时内在里外方向振动五或六次然后停止，速度大约是500米每秒，总位移约50公里，振动小块在太阳表面扩展的距离仅相当于太阳直径的2%。

起初，这些振动似乎是纯粹的局部现象，但在1970年代，几位天文学家独立提出，每一个这种短寿命的局部振动实际上可以更好地解释为数百万个较小振动合成的结果，这些小振动就是陷在太阳内部并使太阳表面像钟一样鸣响的声波。一连串的5分钟振荡实际上是数百个周期在大约3分钟到1小时的不同振动频率的叠加。太阳就像沙暴中的一只钟，不断地被细小的

沙粒撞击，不断地有新的振动产生和旧的振动消失。最终的混合声调(可能是起初的无规振动造成的)很像在大钢琴盖上乱敲一气时听到的声音；乱敲一气使得钢琴的每根弦以其固有频率振动，发出一个单纯音符，所有弦的单纯音符合在一起，成为名副其实的和弦，这就是你听到的轻柔的钢琴声。

太阳内部的波确实是与教堂管风琴管道内部振动的声波一样的声波，它们合在一起有规则地对太阳表面进行扰动，因为声波在太阳内部的传播速率随深度而变。

太阳的较深层比表层更热，也比表层更密，因而声波在深层的传播速率较高。当声波从太阳表面出发向下传播时，波的底部比波的上部运动得较快，这将使波从对流起重要作用的区域（见太阳）底部向上弯曲并返回到表面。然而波不能从表面逃走，于是便像光线在镜子上反射那样，又从表面反冲回太阳内部。随着这个过程的重复，波便绕着太阳翻筋斗，重复地潜入对流层然后折回表面。

每个波下潜的深度，因而也就是每次'筋斗'翻越的表面距离，取决于振动的波长。在大多数情况下，绕着太阳反弹的波最终衰减、消失而不会对表面产生可察觉的影响。但有些情况下，每个筋斗翻越的距离正好是太阳周长的整数分之一。这时，尽管波绕太阳一周可能翻6个或12个或600个筋斗，但它总是在开始的地方结束，然后重复它的旅程，在波的整个存在期间，它总是在表面的同一些小块上反射，每经过一个小块就给它一次有韵律的推动。这种波叫做'驻波'，它与拨动吉他弦或吹奏风琴管发出单纯音符的驻波完全相同。

通过分析风琴管的音符，称职的物理学家不用看它就能算出管子的尺寸。同样，通过分析驻波绕太阳一周产生的表面'音符'，天体物理学家不用看太阳表面以下部分就能够算出太阳深层的条件。由于太阳是一个货真价实的三维物体，而不是风琴管那样的线性管子，所以太阳内部条件的计算要复杂些，但原理则完全一样。某个特定振动模式的总效果可想像一个用黑白相间六边形制成的足球来说明（真正的足球是用五边形和六边形混合制成的，但我们忽略这些细微区别）。每个黑六边形代表太阳上一个向内运动（离开我们而去）的小块，每个白六边形代表太阳上一个向外运动（向着我们而来）的小块。于是，大约2.5分钟后，整个图像将反过来，即原来向外运动的区域变成了向内运动，反之亦然。

但你最需要的是太阳表面振动模式的详细观测资料和能够揭示各个单纯音符图像的复杂数学方法。

结果表明，每个单独的振动只能使太阳表面以几十厘米每秒的速率向内和向外运动几十米（太阳的直径超过 100 万公里）。正是这些数以百万计的小振动的联合影响，产生了 1960 年首次观测到的较大的短寿命的振动。

声波通过对流层运动的方式依赖于对流层的温度和深度，也依赖于它的物质成分。日震学表明，太阳外区是由 75% 的氢和 25% 的氦组成的，这和天体物理学家预期的一致（见核合成），但对流层却比天体物理学家以前（根据他们的理论模型）得到的要略为深些，它从表面向下延伸约 20 万公里，大致占有从太阳表面到中心距离的 30%。有些对太阳表面振动有贡献的声波通过了太阳很深的内层，它们能提供有关太阳中心区域——那里正在发生着维持太阳热度的核聚变反应，也是太阳中微子的发源地——的各种条件（特别是温度）的信息。

观测的太阳振动和基于日震学出现前的标准太阳模型预期的对应太阳振动之间存在轻微差别，这已促使人们修正理论模型，有可能改进对太阳和恒星的认识；其中一个尚在研究中的可能性是，太阳的中心温度可能比天体物理学家过去设想的稍低，这与比如太阳中微子问题等有密切关系。由日震学得出的另一重要发现是，我们在太阳表面看到的赤道区比（更接近两极的）高纬区自转较快的图像，在整个对流层维持不变，但太阳内区的自转却更像一个刚性球，这对认识太阳活动周的根本机理有重要意义，尽管还没有完全搞清楚。

日震学已成为探测太阳的极其重要的手段，人们为建造不受阴天或夜晚影响，能连续监测太阳的仪器，付出了巨大努力，以图获取符合要求的观测资料。有些观测是用人造卫星运载的仪器进行的；法国和美国的一个联合小组在南极做过观测，那里的太阳整个夏季一直不落。但迄今最成功的是全球日震观测网计划，它在世界各处安置仪器，使得任何时候总有至少一台仪器在对太阳进行监测（见 GONG）。

helium 氦，排在氢之后的宇宙中第二位最普通和第二位最轻的元素。氦有两种同位素，两种同位素的核都含两个质子，但氦 - 3 的核含一个中子，氦 - 4 的核（又叫做 α 粒子）含两个中子。氦原子的每个核伴随两个电子。

helium burning 氦燃烧，将三个氦 - 4 核合并成一个碳 - 12 核的核聚变反应。这种过程发生在已经烧完了中心区全部氢的恒星之中。见 B^2FH、恒星演化、三 α 过程。

helium flash 氦闪，当一颗拥有 1 ~ 2 倍太阳质量的恒星耗尽了它的全部

氢燃料时，它将收缩，其核心区的温度便迅速升高。温度达到约开氏1亿度时，氦燃烧将突然开始，短时间内产生的能量将制止收缩。较大质量恒星中氦燃烧的开始比较平缓。

Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von　亥姆霍兹，赫尔曼·路德维格·费迪南·冯 (1821－94)，德国生理学家和物理学家，他是提出能量守恒定律准确陈述的第一人，对太阳产能的过程进行了重要的研究(见开尔文－亥姆霍兹时标)。

亥姆霍兹1821年8月31日出生在波茨坦，他的父亲在波茨坦高级中学讲授哲学，母亲是建立了美国宾夕法尼亚州的威廉·佩恩(William Penn) 的后人。虽然亥姆霍兹爱好物理学而且显露了很强的科学才干，他却利用军方支付学费的机会到大学攻读医学，作为回报他答应取得医生资格后以军医身份服役八年。在柏林弗里德里希·威廉学院的四年，亥姆霍兹完成了他的医学学业，也分出时间练就了娴熟的钢琴演奏技巧，选修了物理学和数学课程。

亥姆霍兹1842年获医学博士学位，1848年前在波茨坦驻军中当军医。他的任务相当轻松，所以他有时间在军营中建立了一间实验室从事实验。正式传记说他作为科学家的才能和名望越来越高，1848年正式免除了他的兵役；但另一些报告称，在正式获准离开军队一段时间从事科学研究之后，他干脆拒绝返回军队，他是不那么光彩地被从军队中开除的。

1849年亥姆霍兹受聘为康尼斯堡生理学教授，在以后长期的杰出科学生涯中，他接受过一系列其他科学职务。在康尼斯堡期间，他提出太阳可以从它缓慢的引力坍缩中获得能量。这是他对天文学的惟一贡献,不过他是一位善于鼓动的教师,他指引他的学生之一——海因里希·赫兹(Heinrich Hertz,1857－94)——发现了无线电波。他的其他学生中有阿尔伯特·迈克耳孙。亥姆霍兹是最后几位学识渊博的大人物之一，是19世纪下半叶德国科学界的权威，有人曾经称他是'[那个世纪] 仅次于俾斯麦和老威廉皇帝的最卓越的人'；他在1894年9月8日逝世于柏林。

Henry Draper Catalog　亨利·德拉伯星表，见德拉伯，亨利。

Henyey track　亨耶迹程,恒星在赫－罗图上从林忠四郎迹程终点演化到主序所走路径。见恒星演化。

Heraklides of Pontus　赫拉克利德斯(蓬杜斯人，公元前388－315)，希腊哲学家和天文学家，宣称地球每24小时绕自身的轴自转一周。这一思想未获广泛接受达1,800年之久。赫拉克利德斯还认为水星和金

星是绕着太阳而非绕地球运动，但却以为太阳绕地球运动，水星和金星则是在本轮上绕太阳运动。

Herbig - Haro Objects 赫比格 - 阿罗天体，小而黯淡的星云，被认为是因星际物质云遮挡而看不见的极年轻恒星的所在地。

Hercules X-1 武仙座 X - 1，位于武仙星座的一个双星系统中的 X 射线脉冲星。该双星系统由一颗可见的恒星（武仙座 HZ）和它的伴星（一颗中子星）组成，中子伴星绕其母星每 1.7 天运行一周。脉冲星的周期为 1.24 秒，周围有一个吸积盘。

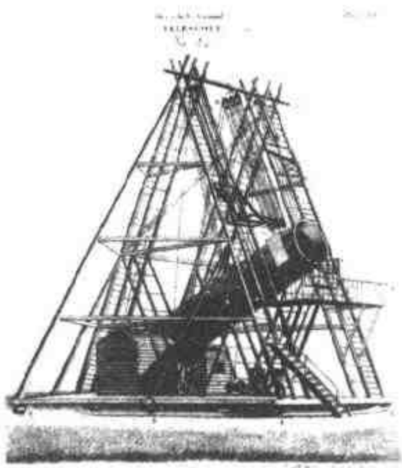
Herman, Robert 赫尔曼，罗伯特（1922 - ），1940 年代与乔治·伽莫夫和拉尔夫·阿尔菲一起研究热大爆炸宇宙起源模型的物理学家。这个小组最早预言宇宙必定充满了温度仅开氏几度的背景辐射，但这预言在 1960 年代偶然发现背景辐射之前一直被遗忘了。

Herschel family (Sir William; Caroline; Sir John) 赫歇尔家族（威廉爵士，1738 - 1822；**卡罗琳**，1750 - 1848；**约翰爵士**，1792 - 1871），威廉和卡罗琳·赫歇尔都出生在汉诺威（威廉生于 1738 年 11 月 15 日，卡罗琳生于 1750 年 3 月 16 日），他们的父亲是汉诺威近卫步兵连军乐队的队员。起初，威廉子承父业，后于 1757 年迁往英国，当过各种职务的乐师，1766 年被聘为巴斯大教堂的管风琴师。1772 年，比他小 12 岁的妹妹卡罗琳和他会合，担任他的管家。

威廉早已对天文学发生了兴趣，于是着手制造自己的望远镜并从事观测；卡罗琳当他的助手，也开始了自己的天文研究。

1781 年赫歇尔兄妹发现了一颗新的行星——天王星，轰动一时。他们的工作（主要归功于威廉）引起了英国国王乔治三世的注意。乔治三世狂热地爱好天文学，从 1782 年起聘请威廉为他的私人天文学家。赫歇尔兄妹先是迁往温莎附近的达切特，后（1786 年）又迁往斯劳，从此威廉终生在斯劳工作。在以后的 30 年中，他制造了一系列大望远镜，进行了很多开创性的观测，1816 年册封为爵士。

赫歇尔扩充了含 100 个星云的夏尔·梅西叶星云星团表，最终达到了 2,000 多个天体；他发现了天王星的两个卫星（天王卫三和天王卫四）和土星的两个卫星（土卫一和土卫二）；他把天河的外貌解释成我们从一个磨盘状银河系内部所看到的情景。卡罗琳参与这些工作的程度不太清楚，但现在认为她是威廉的合作者而不仅仅是助手。她自己发现了很多星云，1822 年 8 月 25 日威廉在斯劳逝世后，她回到汉诺威编制一部含 2,500 个星云和



威廉·赫歇尔探索星空使用的大望远镜。

星团的表，为此她在 1828 年 78 岁时获得皇家天文学会的金质奖章。她在 1848 年 1 月 9 日去世，离她 100 岁生日只差两年多。

1788 年威廉和一位富有的寡妇结婚，四年后的 1792 年 3 月 7 日，他们的儿子约翰在斯劳出世。1813 年约翰毕业于剑桥大学，开始研究法律，旋即参与他父亲的工作，因为威廉 1808 年患病，已无力视事。约翰扩充并修订了他父亲的研究计划，1834 年亲赴南非，四年内编制了南天的星云星团表。1838 年他返回伦敦，从此有点儿放弃天文学，不过他花费了数年时光撰写南天普查工作的详细总结，但直到 1847 年才发表。

约翰·赫歇尔其他方面的兴趣包括化学和照相术（他发明了很多有关照相的技术，他提出了‘正片’和‘负片’等词汇，至今仍为摄影家使用），是他那个时代最著名的科学家之一。他写了一本科普书《天文学概要》于 1849 年出版，堪称为当时的《时间简史》，他在 1837 年维多利亚女王加冕典礼上被封为准男爵，1871 年 5 月 11 日逝世于肯特郡。被誉为一个时代最伟大科学家之一的约翰·赫歇尔，从未在任何科研机构任职，他总是设法靠自己的私人财产生活，从事自己喜爱的研究。赫歇尔一家的努力，开辟了观测天文学时代，为 20 世纪的天文学发展建筑了舞台。

Herschel Telescope　赫歇尔望远镜，见威廉·赫歇尔望远镜。

Hertz　赫［兹］，频率的标准单位（记为 Hz），定义为一周每秒。此名称来自发现无线电波、从而证实詹姆斯·克拉克·麦克斯韦预言的德国物理学家海因里希·赫兹（1857－94）。可见光的频率范围大约是 $750\times10^{12}\sim400\times10^{12}$ Hz。

Hertzprung, Ejnar　赫茨普隆，埃希纳（1873－1967），丹麦天文学家，出生在哥本哈根，1902 年成为天文学家之前是化学工程师。1905 年公布后来称为赫－罗图的原始版本，此后在格廷根大学和波茨坦与

卡尔·史瓦西共事。

Hertzprung-Russell diagram 赫－罗图，将恒星的温度（或颜色）和对应的绝对星等（恒星真实亮度的量度）画在一起的一种图形。一颗恒星在赫－罗图中的位置决定于它的质量和年龄，研究恒星在赫－罗图上的分布有助于天体物理学家弄清恒星是如何演化的。

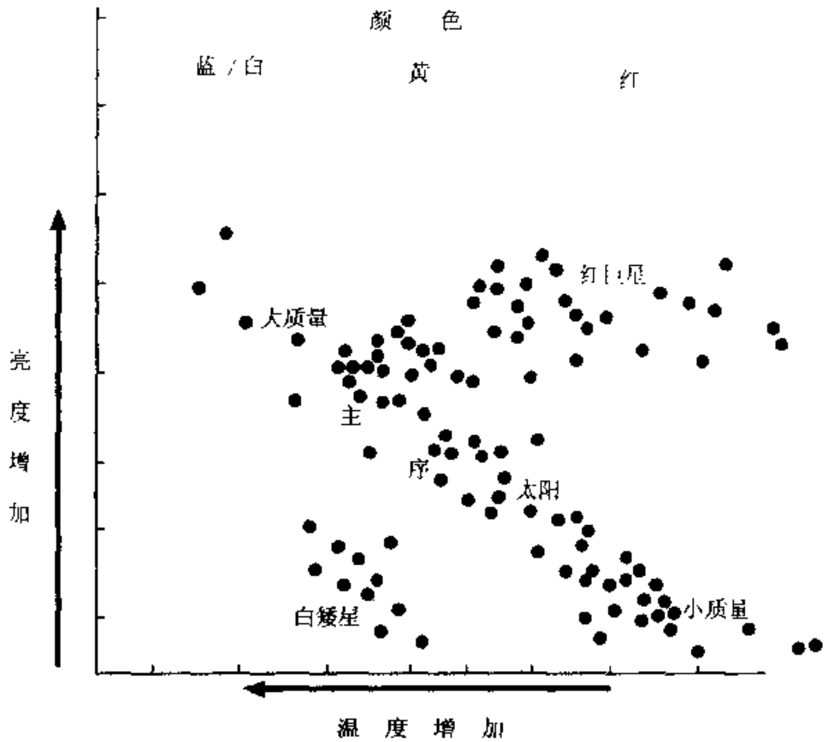
这样一幅图对研究恒星本质的潜在意义，埃希纳·赫茨普隆早在20世纪头十年在哥本哈根工作时就首先意识到了。他在1911年发表的版本是根据他几年前公布的结果总结出来的。在普林斯顿工作的亨利·诺利斯·罗素（Henry Norris Russell）独立地得出同样见解，并于1913年公布了他的版本。赫茨普隆和罗素从未一起交换过这一思想。

赫－罗图的根本特征是它建立了恒星的颜色与亮度的关系。在这幅图中，亮度由下向上（沿图的 y 轴）量度，温度在左右方向（即图的 x 轴）量度，并规定较冷的恒星偏向图的右方。这样选择温度量度方向是为了由左到右横穿赫－罗图时，恒星颜色与安妮·詹普·坎农制定的O B A F G K M分类序列对应。

赫－罗图右下角的恒星是暗弱的红色冷星（温度低于3,500K），左上角的恒星是明亮的蓝白色热星（温度高于25,000K）。大多数恒星落在从左上角到右下角的带内，这条带叫做主序，它对应像太阳那样通过将中心区的氢核变为氦核的聚变获得能量的一切恒星。

恒星的颜色决定于它的表面温度，但恒星的绝对星等却决定于恒星的整个表面输出的总能量。所以一颗很大的恒星即使比较冷却仍然很亮，因为它有很大面积的冷表面发射能量。同样，一颗体积小因而表面积也小的恒星即使很热而呈白色，它却不可能很亮，因为每秒钟通过表面发出的能量有限，否则将爆炸成碎片。不过在主序上，所有恒星尽管质量有别，其大小却大致相同（都叫做矮星）。这是通过赫－罗图理解恒星演化的关键。

恒星在主序上的位置只决定于它们的质量。小质量恒星不必很快燃烧它的氢就能够产生足够的热量来抗衡向内的引力，所以它处在主序的低温端；但大质量恒星必须每秒钟燃烧很多燃料才能避免在自身重力作用下坍缩，所以它处在主序的上部。由于这，主序上端的较大质量恒星比主序下端的较冷恒星更快地燃烧。当恒星消耗它的氢燃料时，它变得稍稍亮些和冷些，但仍停留在主序上。当恒星中心部分的全部氢消耗殆尽，恒星的内核收缩，外层膨胀（见恒星演化），逐渐变成红巨星。



赫-罗图。高度理想化的赫-罗图示意。

一颗太阳这样的恒星要在主序停留约100亿年才能用完其核心部分的氢燃料，一颗质量不到太阳质量1/10的M型星则需要几千亿年。但一颗拥有5倍太阳质量的恒星只要经过7,000万年就将变成红巨星。主序上的最大质量恒星的质量约为太阳的50倍，直径大概是太阳的20倍。

红巨星仍然能够产生很多能量，但这一能量现在是从大得多的表面积发射出去，因为恒星的外层已经膨胀。所以通过每平方米表面积的能量变少了，这就决定了恒星的颜色。在赫-罗图上，随着恒星年龄增长，它将离开主序向右位移，进入一个叫做红巨星支的带内。有些星还要继续向左进入红巨星支左边（但仍然在主序右边）一个短短的叫做水平支的窄条中，它

们是在红巨星阶段损失了质量的恒星，其中很多要经历一个表现为天琴座RR型星或造父变星的活动阶段。

最后，大概在一次新星或超新星爆发中损失质量以后，渐老的恒星（如果不变成中子星或黑洞的话）完全耗尽了燃料而收缩。虽然恒星现在正在冷却，但由于星体已经收缩，能量是从较小的表面积发出的，所以通过每平方米的能量反而增加了，恒星变成了出现在赫-罗图左下部的热而暗弱的白矮星，它终将完全死亡成为一团灰烬。

当然，所有这一切的时间尺度远远长于人的寿命，无人看见过同一颗恒星真正经历了赫-罗图各部分代表的不同演化阶段。天文学家研究了处在生命历程不同阶段的大量恒星后，发现了赫-罗图不同部分恒星的本质，就像你用一年时间研究森林中不同生命阶段的大量树，不必花几十年观察一棵树如何成长和衰老，也能了解树的生命周期。恒星的观测数据与描述恒星如何演化的计算机模型进行比较，可用来改进这些理论模型。

如果把质量不同但年龄相同的许多恒星画在赫-罗图上，图的形状便与年龄有关。这一点在球状星团的赫-罗图上表现得很明显，因为一个球状星团中的全部恒星确实是在同一个巨大气体云坍缩时一起形成的。主序左上端的最亮恒星（质量最大的恒星）最先消耗完燃料，因为它们每秒钟需要很多能量以求避免最终的引力坍缩，所以它们最先离开主序朝红巨星支移动。

如果我们能观察同一个球状星团几百万年，每过100年左右用星团中同一些恒星画一幅新赫-罗图，那么，随着星团年龄增大，主序将从上往下缩短，好像蜡烛从上往下燃烧一样。这些赫-罗图都不再是完整的对角主序和散布在右边红巨星支的少量恒星，取而代之的是对角主序从右下角向上仅仅延伸一段后即折向右边。折向点的准确位置取决于星团的年龄，而由球状星团折向点定出的年龄（再说一次，是根据很多真实恒星的观测与理论模型的比较测定的）是我们银河系某些最年老恒星的最可靠的年龄测定之一。

赫-罗图也能用来测定星团的距离，因为恒星在主序上的位置和它们的绝对星等有关。星团离我们越远，它的恒星发来的光显得越弱，它的主序就越是靠近赫-罗图的下部。利用这点，天文学家得以找出恒星视星等的校准值，使之正好与标准主序相符，并从这个校准值导出星团的距离。

Hewish, Antony 休伊什，安东尼（1924-），1967年参与发现了脉冲星的英国射电天文学家。

休伊什1924年5月11日出生在康瓦尔的佛维，父亲是银行家。他在剑桥大学的本科学业，因于1943～1946年被派往马尔文电信研究所从事军事工作（研究机载雷达的干扰问题）而中断。在马尔文期间他认识了马丁·赖尔（Martin Ryle）。1948年过迟地完成大学学业后，他参加了赖尔在剑桥卡文迪什实验室新设立的射电天文学研究组，1952年在那里获得博士学位。从此他终生在剑桥工作，1971年成为射电天文学教授，1989年退休。

1950年代和1960年代初，休伊什的部分工作是作为一个小组的成员参加了几项射电巡天，编制了一系列射电源表。休伊什特别感兴趣的现象之一是闪烁，这是与星光闪烁类似的射电现象，是遥远天体的射电波通过太空电离气体云时与云中带电物质作用而产生的。这种闪烁仅对天空上显得很小的天体才会发生，休伊什领悟到可以利用闪烁发现类星体。

1960年代中期，休伊什负责建造一种用上述方法搜寻类星体的特殊射电望远镜。正是用了这具望远镜，他的学生乔丝琳·贝尔在1967年发现了第一颗脉冲星。休伊什与贝尔合作，很快又找到另外几颗脉冲星，它们被解释为快速自转的中子星。整个研究计划只有17,000英镑经费，伯纳德·洛弗尔爵士（Sir Bernard Lovell）称它是'科学史上效率价格比最高的项目之一'（见罗伯特·韦伯著《科学先驱：诺贝尔物理奖获得者》[31]）。

1974年，休伊什与赖尔分享了诺贝尔物理奖：赖尔是由于他对射电天文学的整体贡献，休伊什则因为发现了脉冲星。这次颁奖有两点特别引人注意——其一是首次给天文学的一个分支颁发诺贝尔奖，其二是真正做出休伊什获奖说明中提到的那项发现的贝尔反而被排除在外。

Hey, James Stanley　海伊，詹姆斯·斯坦利（1909－），英国物理学家，第二次世界大战时研究雷达，发现太阳是在4～8米波长范围对雷达设备有干扰的强无线电噪声源。他还发现了射电源天鹅座A，率先使用雷达研究流星。

hierarchical model of the Universe　等级式宇宙模型，认为宇宙物质逐级聚集成越来越大的结构的思想，就像俄罗斯玩偶一个套在另一个内部。恒星聚集成星系，星系聚集成星系团，星系团聚集成超星系团，等等。

这种模型是瑞典天文学家查尔斯·查里埃（Charles Charlier，1862－1934）在20世纪初提出的，时间上它先于大爆炸宇宙模型。如果宇宙是理想的等级式结构，它就应该

可用套叠几何加以描述，因而可无限引伸。事实上，虽然现有证据表明成团性尺度达到了超星系团规模，即存在大小可达大约5,000万秒差距的结构，但背景辐射的均匀性和其他证据，都说明在更大尺度上，超星系团本身，或超星系团组成的团，在空间的分布是均匀的。不过，虽然理想的具有套叠几何性质的等级式模型不能准确描述整个宇宙，但宇宙中可见物质的分布，却显示了至少在从星际物质碎片到超星系团这样巨大范围的等级结构。

High Energy Astrophysical Observatory (HEAO)　高能天体物理台(HEAO)，美国宇航局1970年代末叶发射的三颗卫星的通称。其中两颗卫星观测宇宙的X射线，另一颗观测γ射线。HEAO-2也叫做爱因斯坦卫星。

Hipparchus of Nicaea　伊巴谷（尼西亚人，公元前二世纪生，约公元前127年卒），希腊天文学家，又称为罗得岛的伊巴谷，因为他在那里度过了他后半生的大部分时间。他测量的一年长度的精度达到了6.5分钟，最先实际估计了地球到太阳和月球的距离。

Hipparcos　伊巴谷卫星，欧洲空间局1989年发射的用于高精度测量恒星方位的卫星（见天体表）。卫星的名称是英文'HIgh Precision PARallax COllecting Satellite'（直译为'高精度视差收集卫星'）的缩略语，是拐弯抹角（而且可笑地）想出来的，为的是拼凑出一个类似Hipparchus（伊巴谷）的词。

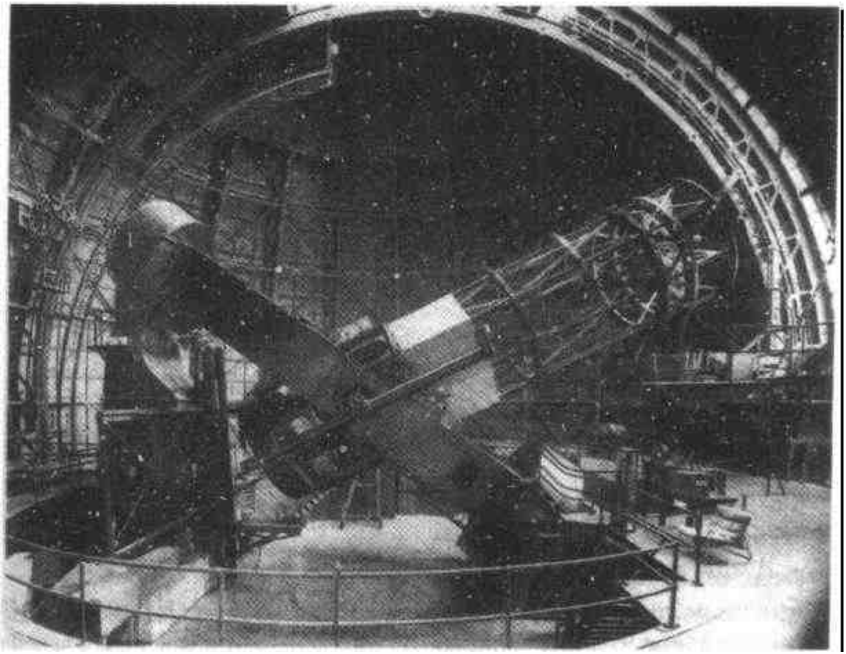
Homestake Gold Mine　霍姆斯泰克金矿，1960年代末以来，雷·戴维斯及其同事在南达科他州雷德市监测太阳中微子流的地点。探测器是一个放在地面下1.5公里深处、大小如奥林匹克竞赛用游泳池的盛满全氯乙烯的容器。见太阳中微子问题。

homogeneity　均匀性，到处一样的性质。宇宙被认为在大尺度上是均匀的，至少在我们观测所及的范围内是如此，其中星系这样的不规则性只代表对均匀性的小偏离。

Hooker telescope　胡克望远镜，威尔逊山天文台的主要反射望远镜，以捐助人姓氏命名。胡克望远镜的主镜孔径是100英寸（2.5米），1918年开始投入使用，1990年代初曾经大修，现在仍是最重要的地面望远镜之一。见海尔，乔治·埃勒里（见202页的图）。

horizon problem　视界问题，尽管从大爆炸以来，光线（或其他任何东西）还未来得及跨过宇宙范围并返回，而宇宙在天空对立两边（对立视界）却显得完全一样。这是一个难解之谜。对立的视界怎么'知道'如何保持彼此步调一致呢？视界问题可用暴涨模型给予解答。

horizontal branch　水平支，球状星



胡克望远镜。威尔逊山天文台的100英寸望远镜，就是埃德温·哈勃发现宇宙膨胀所用的望远镜。

团的赫－罗图中，对应那些在演化过程中损失了质量、现在全都具有相近绝对星等的小质量恒星所在的区域。

hot 'big bang　热大爆炸，见大爆炸。

hot dark matter (HDM)　热暗物质 (HDM)，产生于大爆炸、以接近光的速率运动的一切非重子粒子的通称。在有些宇宙模型中，HDM粒子可占到总质量的1/3（见暗物质）。如果中微子有质量，它们就能提供全部所需的HDM。

另见混合暗物质。

Hoyle, Sir Fred　霍伊尔，弗雷德爵士 (1915－)，英国天文学家，他解释了元素如何在恒星内部的核合成中加工出来，提出了宇宙的稳恒态假说，对天文学和宇宙学做出了其他许多贡献，还写了科普书和科幻小说，其中有一些摄制成了电视系列节目。

霍伊尔1915年6月24日生于

约克郡的宾利，他长时间对抗学校的规章制度（学校不能善待他那早熟的独立自主性），在地区语法学校就读后，入剑桥的伊曼努埃尔学院学习。1936年毕业，做了一段时间的研究生，1939年成为圣约翰大学的特别研究生。霍伊尔思维独特，藐视常规，他从未想过要取得博士学位（当时也不是必要的条件），因为作为学生他可以少付所得税。虽然他在1939年获得硕士学位，实际上也已经具备了博士学位的一切条件，但却没有履行官僚主义手续去获得它。霍伊尔的科学生涯被第二次世界大战打断，他被征入海军部研制雷达。在此工作期间，他认识了赫尔曼·邦迪和汤米·戈德。1945年，霍伊尔被聘为剑桥大学的数学讲师，1958年任天文及实验哲学普鲁明教授。他在1967年创建了剑桥大学的理论天文研究所（今天文研究所之一部），自任首任所长。1973年，即他被封为爵士的次年，在关于天文研究的未来发展问题进行激烈争吵后，霍伊尔辞去了他在剑桥大学的一切职务。这次辞职是他和官方长期紧张关系的顶峰；霍伊尔总是说到做到，从不做不能兑现的承诺，这使他经常受到官僚机器的刁难。



弗雷德·霍伊尔爵士（生于1915年）。

1945到1973年间，霍伊尔除了在剑桥大学工作外，还经常访问其他研究机构，如海尔天文台和加州理工学院等。他保持着很多这样的联系，其中包括1970和1980年代作为独立科学家时，加的夫大学授予的一个名誉职位。1990年代，尽管已经正式退休后家居布内茅斯，他仍然继续发表科学论文。

在同辈科学家中，霍伊尔对天体物理学和宇宙学的贡献涵盖最广而且最为重要，但由于他的某些思想不合当时的正统观念，他未能得到应有的承认。在现代天文学历史上，从贡献的广度和深度看，惟一可与他比拟的人物是亚瑟·爱丁顿爵士。

1940年代，霍伊尔是稳恒态宇宙模型三位合作创立者之一（另两位是邦迪和戈德），但他独自将

这一思想朝与邦迪和戈德不同的方向发展。尽管1960年代越来越多的证据证明大爆炸模型是对宇宙的更好的表述，而且被广泛接受，霍伊尔却从未接受它。'大爆炸'一词是霍伊尔首创的，但他的本意是为了嘲笑这个模型'精美得就像蛋糕中跳出来的交际花'。在他看来，大爆炸的问题是它有着霍伊尔称之为'有趣但凶险性质'的东西，他指的是开始时刻的奇点。

1960年代以来，霍伊尔和他的同事加扬·纳里卡(Jayant Narlikar)一道，提出了稳恒态模型新版本，其中加进了'局部的'快速膨胀区域；这个模型与暴涨模型的某些版本极为相似，但（和任何其他事物一样，由于历史偶然和时尚）通常只将暴涨看成是大爆炸宇宙模型的一个部分。

1940和1950年代，霍伊尔是解释了元素如何在恒星内部加工的那个研究小组的指导明星（见B^2FH）。1960年代，在对如果发生过大爆炸，最轻的元素（比如氢、氦和氘）如何在宇宙生命的最初几分钟内'烹调'出来的解释方面，霍伊尔起了主要作用。在天文学家今天提起仍心存敬佩的《力的巡礼》演讲中，霍伊尔实际上已在这一研究中迈出了第一步，算出了大爆炸产生了多少氦。这是他在给本科生开的'河外天文学'教程的授课期间进行的，据当时听过这门课的学生说，问题就在他们眼皮底下、在大约三个星期的时间内'实时地'解决了。颇具讽刺意味的是，随着这项研究发展成为更完善的宇宙核合成理论，它的成功却成了今日大爆炸模型的支柱之一。雅可夫·泽尔多维奇(Yaakov Zel'dovich)独立做过类似的研究。

后来，特别是离开剑桥后，霍伊尔同昌德拉·威克拉马辛格合作，提出了星际物质中存在生命必需的复杂分子的见解。他们经过仔细推敲后认为，生命本身可能最早是在太空中出现的，地球上的生命进化可能受到跟随彗星进入太阳系内区的新生命形态（'太空病毒'）的影响。这些思想的极度发展使很多人疏远了他，而且很可能在诺贝尔委员会决定不让霍伊尔分享因B^2FH研究成果颁发给威利·福勒的诺贝尔奖时起了作用。但是，由于用波谱学技术在太空中发现了越来越复杂的分子（包括至少一种氨基酸和富勒球烯[①]），霍伊尔和威克拉马

① 碳的一种同素异型体，又称富勒球碳，系由60个（或更多）碳原子构成的球形分子，因其形状颇似建筑师巴克敏斯特·富勒（Bukminster Fuller）所发展的一种多面体穹窿结构，故名。——译注

辛格观点的依据看来还是比较可靠的。即使地球不感染太空病毒，但现在看来，我们这颗行星形成后不久即出现了地球生命，原因之一极可能是彗星闯入时播下了有机物（就算不是真正的生命细胞，也可能是氨基酸和类似物）的'种子'。

除主要研究领域（这里只提到其中几个）外，霍伊尔也分心阐述了史前巨石群在古代如何用做日月食预报器的可能性，参与了核能需要性的辩论，推出了有关冰河时期的新理论，写了很多天文学普及读物和学术著作，以及科幻小说和一部既妙趣横生而又充满洞察力的自传。他是20世纪最富创造性的科学思想家之一，他的正确远远多于他的谬误。

补充读物：弗雷德·霍伊尔著《起风之处就是家》[20]；约翰·格里宾著《宇宙的发端》[16]。

H－R diagram H－R 图，见赫－罗图。

Hubble, Edwin Powell 哈勃，埃德温·鲍威尔（1889－1953），美国天文学家，他证明许多分类为星云的天体是（银河系以外的）其他星系，发现了红移和距离的关系，并推断宇宙在膨胀。

哈勃出生于1889年11月20日，是密苏里州马什菲尔德一位律师的七个儿子中的老五。他在芝加哥上完高中，然后在芝加哥大学



埃德温·哈勃（1889－1953）。

（1911年毕业）和作为罗兹奖学金获得者到牛津女王学院攻读法学。但乔治·海尔在芝加哥的工作已经激发了他对天文学的兴趣，虽然1913年哈勃已经获得肯塔基州法院所属律师的资格，并且做了一个短时期的律师工作，他还是在1914年回到芝加哥，在海尔建立的叶凯士天文台任研究助理。

哈勃天生强壮，他在英国求学期间曾代表牛津大学，以业余拳击手身份和法国冠军乔治·卡庞蒂埃在一场表演赛中交过手；他是一个不错的拳击运动员，他的教练许诺将他培养成职业选手，想安排他与世界重量级冠军杰克·约翰逊较量，

但他明智地拒绝了他的好意。

哈勃在叶凯士天文台研究天文，1917年获博士学位。那一年适逢美国参加第一次世界大战，海尔安排他在威尔逊山天文台工作，但哈勃首先志愿加入步兵团开赴法国作战，在那里被弹片击伤了右臂。1919年他终于在威尔逊山天文台任职，正碰上新的100英寸（2.5米）胡克望远镜投入运转。他在那里工作终生。

哈勃占尽天时地利，成了揭示宇宙真谛的最佳人选。他的博士学位论文研究的是天空中叫做星云的模糊光斑，他断言这些天体中有些确实是我们银河系内的气体云，但另外一些则可能是银河系之外的更遥远的天体。1920年代初，他用新的望远镜成功地证明仙女座'星云'（即今天的仙女座星系）事实上是与我们银河系类似的恒星集合，而且证认了其中一些造父变星，使他得以计算出到仙女座星系的距离。1925到1929年间，哈勃证明'旋涡星云'全都是其他的星系，我们银河系不过是宇宙中大量旋涡星系中的一个而已。后来他又确认椭圆星系是另一种性质的宇宙'岛'。

1929年，哈勃在维斯托·斯里弗（Vesto Slipher）工作的基础上，在米尔顿·哈马逊（Milton Humason）的协助下，建立了星系的红移和距离之间的关系，这就是著名的哈勃定律。它表明宇宙正在膨胀，意味着宇宙必定是在某个确定时刻起源的。人们很快领悟到，这些观测结果与亚力山大·弗里德曼和乔治·勒梅特的宇宙模型指出的阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论预言的一致。由哈勃的早期测量得出宇宙年龄仅仅几十亿岁，瓦尔特·巴德及其他人改进方法后测得的年龄长得多；今天的最可靠估计是，大爆炸发生在150~200亿年之前。

1930年代，哈勃研究了星系在天空中的分布，得出这一分布是各向同性的——也就是说宇宙在所有方向是同质的。1940年代，作为天文学界的元老之一，哈勃参与建成了帕洛马山天文台的200英寸（5米）海尔望远镜，他在生命的最后几年用这台新望远镜研究了暗弱的恒星。1953年9月28日哈勃逝世于加利福尼亚州的圣马里诺。

Hubble constant 哈勃常数，给出宇宙膨胀速率的一个数。这个数在宇宙中所有地方应该相同，所以称它为'常数'，但它随时间而变，因为宇宙中全部物质的引力使宇宙膨胀速率减慢。由于这个原因，很多宇宙学家更倾向于用'哈勃参数'一词；在这种情况下，通常用符号 H_0 代表的哈勃常数就是哈勃参数在当前时刻的数值。

这个常数最早是埃德温·哈勃

在 1920 年代末测定的，所依据的是他对离我们比较近的星系的红移和距离的研究。他发现现在认为是由宇宙膨胀引起的红移正比于到星系的距离；H_0 就是公式中的比例常数。准确测定哈勃常数，要依靠与红移无关的方法测定星系距离（见宇宙距离尺度）。从哈勃时代以来，最佳估计值已经过多方修正，虽然大多数估计值介于 40～80 公里每秒每百万秒差距之间，但至今仍然不能确定。如果正确数值，比方说，真的是 40，那就意味着，离我们 100 万秒差距的星系的红移应该与 40 公里每秒的退行速度产生的红移一样，离我们 200 万秒差距的星系的红移应该对应 80 公里每秒的退行速度，等等。

哈勃常数的倒数（叫做'哈勃年龄'）是宇宙年龄的一种量度——哈勃常数值越大，宇宙必然越年轻。

奇怪的是，根据较近天体（包括用哈勃空间望远镜研究的室女座星系团中的造父变星）的距离定出的哈勃常数值，总是比根据观测更遥远宇宙深处的方法，特别是用苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应和引力透镜效应，所得的数值大（暗示宇宙更年轻）。有些天文学家据此怀疑哈勃常数根本不是真正的常数；另一些人指出，引力透镜效应和苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应都不涉及链式推理，因而原理上都是测量哈勃常数的'干净'方法。与此相反，传统的造父变星方法包含好几个步入宇宙的阶石，因而更可能在不知不觉中混入了误差。

古斯塔夫·塔曼赞成 H_0 应取小的值，他认为差异根源于宇宙学家中的乐观派和悲观派之间的不同。他说，乐观派认为他们的距离指示物几乎是完美的，也相信根据用我们所在宇宙局部中的测量进行定标的某种关系计算出来的距离。将这些测量信以为真，意味着 H_0 值比较大，而且越往宇宙深处，其数值也越大，我们银河系和仙女座星系（在推算的其他星系距离上来看）都是非常大的样品。

另一方面，悲观派，如塔曼，则承认他们对遥远星系的观测，用塔曼的话说，其实是'十分糟糕'的。所以他们对他们测量的遥远星系亮度是否精确没有把握（实际上他们深信这些测量是不精确的）。这个问题可以通过互相让步加以解决，因为越往宇宙深处观测，越是难以看见暗弱的星系。所以遥远星系表中绝大多数是最大的星系，使人们产生了平均亮度随距离增加的印象（这就是称为马姆奎斯特效应的现象）。由于暗星系的隐匿和马姆奎斯特效应，对观测信以为真的乐观派实际上是越往宇宙深处，所得的距离越小。因此，他们看到的

星系实际上比他们推算的更大、更亮也更远。如果按照悲观派提出的方法进行改正，终将能够得出较小的、在同一时刻的宇宙中处处一样的 H_0 值，而修正的距离尺度也将表明我们的银河系和仙女座星系在宇宙中既不是最大的，也不是最亮的。

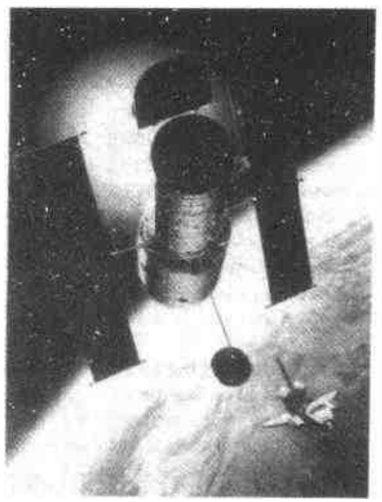
裁决尚待时日，但我们认为物理论据有利于悲观派的观点。

Hubble diagram **哈勃图**，星系的红移和它们的距离之间的简单关系图。这种图使埃德温·哈勃得以发现以红移正比于距离为特征的宇宙膨胀。见宇宙距离尺度、膨胀宇宙。

Hubble radius **哈勃半径**，根据哈勃定律，必然存在一个确定的距离，在那个距离上，星系以光速退离我们。这个叫做哈勃半径的距离以外的任何东西都不能为我们所见。哈勃半径等于自大爆炸时刻起光线传播的距离，所以它以光年为单位的数值与宇宙年龄的年数相同——大致为 200 亿光年，或 60 亿秒差距。

Hubble's Law **哈勃定律**，遥远星系的退行速度（由红移定出）与它们到我们的距离成正比。见宇宙距离尺度、膨胀宇宙。

Hubble Space Telescope（HST） **哈勃空间望远镜（HST）**，美国宇航局和欧洲空间局联合建造、1990 年发射的一个轨道天文台。望远镜的



哈勃空间望远镜。这是从航天飞机发射后不久，艺术家根据印象画出的哈勃空间望远镜。

缺陷已在 1993 年由宇航员基本消除，目前正在地球大气干扰层外获取品质超群的天体像。HST 的主望远镜是孔径 2.4 米的反射望远镜——几乎和 1947 年前的最大地面望远镜一样大。

Hubble time **哈勃年龄**，见宇宙年龄、哈勃常数。

Hulse, Russell Alan **胡尔斯，罗素·艾伦**（1950 – ），美国天文学家，1993 年因（与约瑟夫·泰勒共同）发现脉冲双星获诺贝尔物理学奖。

胡尔斯 1950 年 11 月 28 日生于纽约市，曾就读于布朗克斯区高级

他作为一名自由科学家，用他父亲提供的收入随心所欲地研究他喜欢的事物。他如此成功，获得了如此高的声望，以致 1666 年在新成立的法国皇家科学院赞助下被邀请到巴黎工作。他在那里呆了 15 年，但遇到了对他那新教徒观点的歧视，部分由于这一原因，他于 1681 年返回荷兰。惠更斯还深受健康不佳之苦，他只偶尔旅行去会见其他科学家（包括 1687 年在伦敦拜访艾萨克·牛顿）。1694 年他再次病倒，这次未得康复，翌年的 7 月 8 日与世长辞，享年 66 岁。

使惠更斯第一次出名的是他将伽利略的思想加以发展而发明了一具实用的摆钟。1657 年一名荷兰制钟匠按照惠更斯的设计制成了一具钟，它如此成功，以致不久后全荷兰的教堂钟楼上都安装了类似的钟，以后又推广到全欧洲。惠更斯也研究数学，做出了概率论方面的早期成果；他还研究了包括离心力和加速度本质的动力学。在这项研究中他没有牛顿走得远，因为他未能像牛顿那样发展出必须的数学工具——微分学。巧合的是，1672 年惠更斯认识了德国数学家哥特弗里德·莱布尼兹（Gottfried Leibnitz, 1646 – 1716），后者给他讲解了有关的数学。莱布尼兹提出他的微分学后（与尚未发表其研究成果的牛顿无关），是惠更斯在 1674 年正式向法国科学院推荐了他的论文。该文的发表引起了牛顿和莱布尼兹之间以及他们各自的支持者之间关于优先权的激烈争吵。

1655 年，惠更斯开始和他的兄弟康斯坦丁研制供天文观察用的望远镜，他推出一种成像更清晰的改进型目镜（这一设计今天仍在使用），同年就用他们的新望远镜发现了土卫六。他还认识到当时称为土星'臂'的奇怪特征实际上是环状物，1659 年他将这一发现用类似拉丁字谜的密码形式予以发表，解密后的意思是'它被一个薄薄的、无处与之接触且与黄道斜交的平面环所围绕'。他后来解释说，这个环系由一大群小质点所组成，就像是围绕土星运动的无数小月亮。也是在 1659 年，惠更斯首次观察了火星表面的暗斑纹。

通过望远镜的观察，惠更斯对光的本质发生了兴趣，并创立了用波描述光的行为的完整理论。这一工作在 1678 年致法国科学院的信件中首次发表，其完整形式则于 1690 年发表在他的《论光》一书中。但艾萨克·牛顿主张与此对立的把光看成微小粒子（'微粒'）流的理论，而牛顿的名声和威望使波动论在整个 18 世纪黯然失色。今天，量子理论对光的描述必须用到波动和微粒两种学说。

虽然惠更斯在 17 世纪下半叶

取得的科学成就仅次于牛顿居于第二位，但他主要是独自研究，他从未在大学执教，既无学生也无门徒。主要由于这点，他的工作当时未曾得到充分称许，对 1695 年 7 月 8 日他去世后一个世纪的科学发展产生的影响也不如应该有的那么大。

补充读物：约翰·格里宾著《薛定谔的小猫》[40]。

hydrocarbons 碳氢化合物，氢和碳的化合物。这两个元素形成的可能化合物有几千种，已经在星际物质云中发现了几种简单碳氢化合物，其中有甲烷（CH_4）和乙炔（C_2H_2）。勿与碳水化合物混淆。

hydrogen 氢，最简单的元素，符号为 H。每个普通氢原子含一个质子（氢原子的核）和一个电子；称为氘（'重氢'）的稀有同位素的每个原子含一个由单个质子和单个中子构成的核，当然也有一个与之结合的电子。核反应中产生的不稳定同位素氚的核中还多一个中子，但氚自发地经由β衰变而成为氦的一种同位素（氦-3）。

氢也是宇宙中最普通的元素，它在恒星和星系形态的全部可见物质的质量中占 75%。同氦一样，氢也是在诞生了宇宙的大爆炸中产生的。除可见恒星形态外，还有大量氢存在于星际空间的气体云中（见中性氢区、电离氢区）。氘也形成于大爆炸，但数量很少。恒星和星际物质中的氘很难探测，但已有为数不多的观测表明，宇宙中每 10 万个氢原子中只有两个氘原子，这与大爆炸模型的预言符合得极好。

由于氢原子的结构极为简单，它在可见光和射电波段的波谱都十分容易证认（可见光谱红区有一根可资鉴别的谱线，叫做 Hα，其波长等于 656.28 纳米；射电波段最突出的是波长 21 厘米的谱线）。这些非常确切的特征对测量遥远星系和类星体的红移十分重要。氢也以分子形态（如 H_2）存在于太空的气体分子云中。

hydroxyl 羟基，原子团（不完整的分子，又称为'基'）的一种，由单个氢原子和单个氧原子结合而成的 OH。羟基实质上是失去一个氢原子的水分子（H_2O），是星际物质的普通组分之一，也是在电磁波谱的射电波段根据特征吸收最早（1963 年）发现的星际'分子'。已经探测到的羟基中也有些表现为辐射的发射体。

Hyperion 土卫七，土星的卫星之一，威廉·克兰奇·邦德在 1848 年所发现。这是一个形状不规则的天体，长和宽大致为 350 公里和 200 公里，可能是一个较大天体在一次碰撞中破裂后的一块碎片。

一个静止的物体将保持静止，直到某个力使它运动为止；一个运动的物体将以同一速率在同一方向继续运动，直到某个力改变它的运动方式为止。这种行为由艾萨克·牛顿的一条定律所陈述（运动第一定律）；正是牛顿指出了物体的质量可用惯性来定义。力的作用使具有给定质量的物体产生的加速度等于力除以质量（$f = ma$），所以物体的惯性质量等于力除以它引起的加速度（$m = f/a$）。对同一个物体来说，惯性质量对所有的力和加速度都是相同的。至今未能得到完满解释的一个科学之谜是，一个物体的惯性质量在数值上准确地与决定该物体引力场强度的引力质量相等（见马赫原理）。

在日常生活中，牛顿第一定律表现得很不明显，因为我们居住在一颗行星上，那里的一切东西都受到向下拉的引力。物体在行星表面上运动时，它们并不无限制地持续运动，而是在摩擦力作用下趋于停止。惯性的影响在沿轨道运行的太空飞船内部的自由下落条件下表现得远为明显，飞船内部的物体确实（像很多发自太空的电视节目所展示的）保持匀速直线运动，直到碰上了什么东西为止。

inertial frame **惯性系**，惯性系是艾萨克·牛顿的运动定律适用的参考系，其中，物体沿直线匀速运动，除非有某种力改变它们的运动（见惯性）。地球表面不是在惯性系中，因为物体都被地球的引力向下拉，它们被加速，直到碰到地面为止。由于这，物体在惯性系中的行为不是我们通常能识别的‘常情’，而是需要对消除了引力（和摩擦）影响后事物的行为方式进行科学观察，才能认知的。惯性系中物体的行为，可以近似地用游艺走廊曲棍球游戏中，球在空气台上的自由运动来演示；球实际上是悬浮在紧贴台面的一层空气上，因而几乎完全消除了摩擦。

牛顿认为存在一个特殊的、从中能测量宇宙中一切物体的运动的参考系。阿尔伯特·爱因斯坦在其狭义相对论中提出，所有惯性系彼此完全等价，任何身处一个牛顿定律适用的参考系中的人，都能把自己看成静止的，并测量出宇宙中一切物体相对于他们自己那个参考系的运动。尽管如此，还是有一个参考系显得比其他的更具优势——从中测得的背景辐射在所有方向具有准确相同的温度、最遥远星系和类星体在天空显示均匀分布的那个惯性系（见马赫原理）。

inertial mass **惯性质量**，根据使物体产生一个确定加速度所需要的力定义的该物体的物质数量。惯性质量完全等价于引力质量，但还没有一个公认的理论能说明为何应该如

此。见马赫原理。

inflation 暴涨，关于极早期宇宙的一组模型的通称，这些模型包括一个短暂的（指数的）快速膨胀，在远远不到一秒钟的时间内，将现在已成为可观测宇宙的东西，从一个比质子还小很多的体积，炸开到大约柚子那么大。这个过程应该能够抹平时空而使宇宙平坦（见平坦性问题），也应该能解决视界问题。

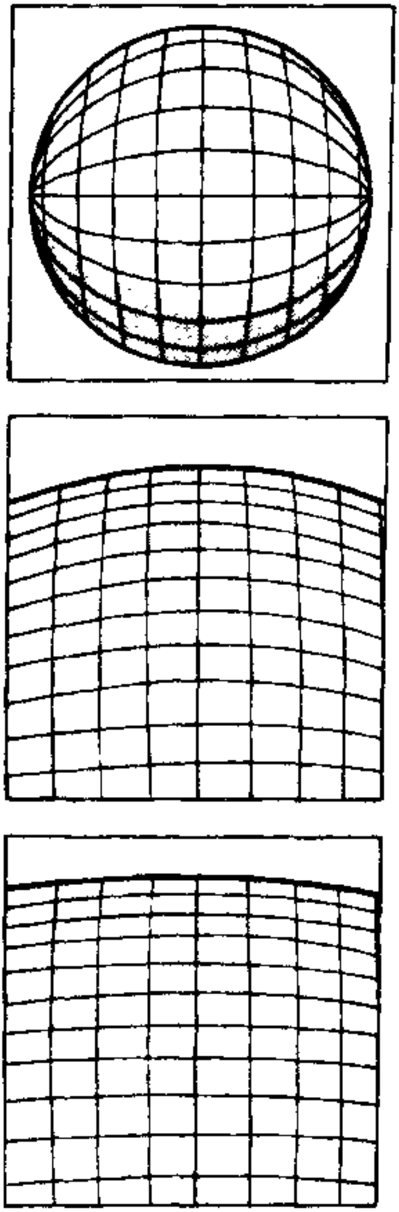
暴涨在1980年代被承认为极早期宇宙的标准模型。它取得这样的成功，不仅仅因为它解决了有关宇宙本质的许多难题，而且由于它解决这些难题时应用了大统一理论（GUT）和与宇宙学研究毫无关系的粒子物理学家发展出来的量子理论知识。发展这些关于粒子世界的理论时并未想到它们可能应用于宇宙学（它们决不是为了处理后来竟然解决了的所有问题而'设计'的）；很多人认为，这些理论在宇宙学领域的成功，说明它们确实得到了对于宇宙的真正重要的了解。

粒子物理学（研究最细微之物）和宇宙学（研究最庞大之物）的联姻，看来已经解释了宇宙如何起源和如何演变成当前的样子。因此，暴涨可视为自最早暗示宇宙起源于大爆炸的宇宙膨胀被发现以来，宇宙学思想的最重大进展。

观测到的宇宙膨胀暗示，它是150～200亿年前从一个密度无穷大的奇点起源的。量子物理学认为这种极端的说法没有意义，应该改为膨胀起始于直径不超过普朗克长度（10^{-35}米）的一个区域，因而当时的密度不是无穷大，而是'只有'大约10^{94}克每立方厘米。第一个难题是，如此致密的东西怎么能够膨胀——它应该拥有极其强大的引力场，在它刚刚诞生后就会把它变成黑洞并（重新转为奇点）归于消失（见免费午餐宇宙）。

暴涨模型提出前，大爆炸理论的其他问题涉及时空的极度平坦（意味着宇宙的膨胀和引力的反抗达到平衡，致使宇宙精确地处在永远膨胀和终将发生坍缩至大崩塌这两者的分界线上；见密度参数），以及宇宙显示的极度均匀性和各向同性，这种性质以背景辐射的均匀性展现得最清楚。

当宇宙仍如普朗克长度那么大时，如果给它一个猛烈的向外推动（其作用犹如反引力），所有这些问题都能得到解决。如此小的一个空间区域真是太小，开始时不可能包含不规则结构，所以最初它是均匀和各向同性的。以光速传播的信号有非常充裕的时间在难以置信的微小体积内互相交叉，所以不存在视界问题——胚胎宇宙的两边彼此'知晓'对方。而时空本身因膨胀而变得平坦，就像放入水中的梅干泡发后，布满皱纹的梅干表皮变得



暴涨。一个弯曲的表面，如气球的外膜，如果大大膨胀，就可以显得平坦。人们认为，暴涨就是这样在宇宙年轻时使时空变平坦的。

平滑。与标准大爆炸模型一样，我们仍然可以把宇宙类比于膨胀气球的外膜，但现在必须把它看成在其存在的最初瞬间大大暴涨了的实在的巨大气球。

大统一理论在应用于宇宙学时造成如此大的轰动，是因为它预言存在的机理正是进行这种工作所需要的，这就是所谓的标量场。标量场与大统一的原始力在宇宙开始膨胀和冷却时分裂成我们今天所知的基本力有关。引力应该在普朗克时间——10^{-43}秒——时就分离出去了，而强力在大约10^{-35}秒之前分离。大约在10^{-32}秒内，标量场应该已经完成了它们的工作，至少每隔10^{-34}秒将宇宙增大一倍（暴涨理论的有些版本甚至认为膨胀得比这更快）。

这听起来可能是适度的，但它意味着在10^{-32}秒内加倍了100次。这已足够引起比一个质子小10^{20}倍的量子涨落，并在大约15×10^{-33}秒内将它暴涨为直径约10厘米的球。在这个时候，标量场已经完成了对宇宙的初始发动任务，平静下来，释放它的能量，留下一个如此高速膨胀的火球，以致引力即使现在已经能够开始发挥其将一切东西拉回到大崩塌的作用，也需要经过数千亿年先制止膨胀，然后才能使其反转。

奇妙的是，时空的这种指数膨胀，可用威廉·德西特在1917年根据广义相对论提出的首批宇宙模型之一加以准确描述。德西特的这个模型仅仅被当成与现实宇宙无关的数学珍品达半个多世纪；现在却成了暴涨宇宙学的基石之一。

暴涨的特质之一是，它似乎进行得比光速更快。即使是光也要10亿分之3秒（3×10^{-9}秒）才能走完1米，而暴涨只用了大约5×10^{-33}秒就把宇宙从远小于一个质子的大小扩大到直径10厘米。这种情形之所以可能，是因为膨胀的是时空本身，物质只是被它带动而已；不论在暴涨期间或是自暴涨发生以来，没有任何东西通过时空的运动可以比光更快。确实，正是由于膨胀是如此快速，物质才没有来得及在膨胀进行期间运动，这个过程在变成我们今日宇宙的原始量子泡最初的均匀性中'凝固'了。

暴涨剧本在其不长的历史中已经历了好几个发展阶段。第一个暴涨模型是莫斯科朗道理论物理研究所的阿列克谢·斯塔罗宾斯基（Alexei Starobinsky）在1970年代末提出的——不过当时不叫'暴涨'。那是一个基于量子引力理论的极其复杂的模型，后来称之为'斯塔罗宾斯基宇宙模型'，在当时的苏联宇宙学家中引起了轰动。可惜，苏联科学家那时仍然很难出国旅行或与苏联势力范围以外的同行通讯，

有关消息未能传播到苏联以外。

1981年，当时在麻省理工学院的艾伦·古斯，在对斯塔罗宾斯基的工作毫不知情的情况下，发表了一个不同的暴涨理论版本（《物理学评论》，32卷，347页，1981年1月）。这个版本影响更大，原因有二，其一是比较明白易懂，其二是身在美国的古斯能够和全世界的同行自由探讨他的观点。而古斯给他描述的过程所起的名称‘暴涨’极富感染力，也给他带来了意外的好运。虽然古斯的原始模型在一些细节上有明显缺陷（他当时也承认这点），但正是这一版本的观点使所有宇宙学家明白了暴涨的威力。

1981年10月，在莫斯科召开了一次以暴涨为主题的国际会议。斯蒂芬·霍金提交了一篇论文，声称暴涨根本不能成立；安得列·林德则公布了一份叫做‘新暴涨’的改进版本，避开了古斯模型遇到的困难。有趣的是，林德是霍金谈话时的正式翻译，承担了给听众传达与他自己对立的观点这一令人为难的任务！但在正式发言之后，霍金终于相信林德是对的，暴涨也可能成立。几个月后，宾夕法尼亚大学的安德里亚斯·亚布勒希特（Andreas Albrecht）和保罗·斯坦哈特（Paul Steinhardt）发表了他们的新暴涨理论；到1982年底，暴涨已经稳固地确立了它的地位。

此后，林德参与了大多数重大理论发展。下一步进展是认识到不必对膨胀成我们这个宇宙的普朗克大小的时空区做任何特别的规定　如果那是一切标量场均成立的某个更大时空区的一部分，那么只有标量场能引发暴涨的那些时空区才能导致出现我们自己这样的宇宙。林德把这叫做‘混沌暴涨’，因为标量场在早期的超级宇宙的不同地点可取任何数值；这是今天的暴涨理论标准版本，可视为与人择原理有关的理论思维的一个例子（注意，这里使用‘混沌’一词和日常所指的一团糟意义相似，与称为‘混沌理论’的数学科目无关）。

混沌暴涨思想导致暴涨理论（迄今）最重大的进展。标准大爆炸宇宙学未能回答的主要问题是，奇点‘之前’是什么。人们常说这个问题没有意义，因为时间是从奇点开始的。但混沌暴涨认为，我们的宇宙是在某个预先存在的时空区中、由量子涨落生长而成的，而且在我们自己的宇宙内部也能经由完全等效的过程创造出暴涨区。总之，新宇宙可以从我们的宇宙分离出来，我们的宇宙本身可能是从另一个宇宙分离出来，这是一个没有起始也不会终结的过程。关于这个话题的一种说法是，‘分离’过程是通过黑洞进行的，每当一个黑洞

坍缩为奇点，它会'跳'出来并进入另一组时空维度，创造出一个新的暴涨宇宙——这就是称为婴儿宇宙的情景。

永远暴涨及自我生产宇宙的思想，与弗雷德·霍伊尔及加扬·纳里卡提出的稳恒态假说版本，有一些相似之处。在这个版本的稳恒态假说中，创造场扮演着发动暴涨的标量场的角色。1994 年 12 月，在伦敦召开的一次皇家天文学会会议上，霍伊尔曾经牵强附会地指出，暴涨理论的有关方程式与他的稳恒态理论版本中的完全一样，只不过将字母'C'换成了希腊字母'Φ'而已①。'这'，霍伊尔（很不老实地）说，'就是全部分歧所在'。

暴涨理论的当代支持者得出的这些方程式与霍伊尔的方法完全无关，他们不愿意接受这种抽掉了他们的大爆炸模型之宇宙学精髓的类比。确实，当 1980 年古斯被问及当时全新的暴涨概念与稳恒态理论有何关系时，据说古斯的反应是'什么是稳恒态理论？'不过，虽然一般认为暴涨是大爆炸宇宙学的发展，但更恰当的是把它看成大爆炸和稳恒态两种理论的最佳特点的结合。

所有这些好像一场无谓的哲学争论，它和论证多少个天使可以在一个针尖上跳舞一样于事无补，惟一说明问题的是 COBE 卫星的背景辐射观测资料，这些资料揭示的微小不规则结构图景与暴涨理论预言的完全一致。对暴涨概念最早期（早在 1981 年）的担心之一是，它也许太过完美以致难以信其为真。特别是，如果这个过程能如此高效地抹平宇宙，那么像星系、星系团等等那样大的不规则结构怎么能够产生？但是，当研究者更仔细考察这些方程式后，他们认识到，甚至在我们宇宙的直径大约是 10^{-25} 厘米——比普朗克长度大 1 亿倍——时，量子涨落应该仍然能在宇宙结构中引起微小的涟漪。

理论认为，暴涨之后这些涨落被扩大，表现为宇宙中物质和能量分布的不规则性。这些密度扰动应该在物质和辐射解耦时期（约在大爆炸 30 万年后）给背景辐射留下印记，使背景辐射正好具有先由 COBE 卫星、后由其他仪器探测到的那种不均匀性。解耦以后，密度涨落增长为当前星系分布所显示的宇宙大尺度结构。这意味着 COBE 卫星的观测确实提供了宇宙年龄不

① 英文'创造'一词的首字母是'C'，所以创造场又叫做 C 场。在数理科学中，希腊字母'Φ'常代表标量，所以有时称标量场为 Φ 场。两个称谓的差别就是'C'和'Φ'的不同，故霍伊尔如是说。——译注

到10^{-30}秒钟时，究竟发生过什么事情的信息。

没有其他理论能够解释何以宇宙总体上如此均匀，却又包含了以星系空间分布和背景辐射变化为代表的这种‘涟漪’。这并不证明暴涨理论正确，但值得记住，如果COBE卫星发现的涨落是另一种图景（或者根本没有发现涨落），那就证明暴涨理论是错的。从最佳科学传统来看，暴涨理论的毫不含糊的主要预言已经‘成为现实’。暴涨还预言原始扰动可能留下了具有特殊性质的引力辐射的痕迹，未来10～20年内有望研制成功灵敏度足够辨认这一特征辐射的探测器。

补充读物：约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]。

Infrared Astronomical Satellite　红外天文卫星，见爱拉斯卫星。

infrared astronomy　红外天文［学］，利用电磁波谱中波长1～1,000微米的红外辐射研究宇宙的学科。这些波长在人眼可见的光谱红端（长波端）和射电波段（波长比红外波段更长）之间。大多数太空红外辐射被地球大气吸收，所以红外天文观测必须使用高山上的望远镜或高出大气吸收层的高空飞机、气球、火箭和卫星运载的仪器。

但是，太空红外辐射穿透星际物质云的能力远高于可见光，这是因为波长较长的辐射比较不易被尘埃散射（太阳光通过地球大气时也发生同样的现象，大气将短波的蓝光散射到天空的四面八方，却让长波的红光通过，从而造成壮观的彩霞）。所以红外望远镜在观测被尘埃遮挡的天区，如银河系中心时特别有用。

红外观测涉及宇宙中种类极其繁多的天体，从行星、太空尘埃云和形成新恒星的云（电离氢区），到活动星系和类星体。对我们银河系中冷气体尘埃云的红外频谱学研究，已经揭示这些云中存在冰和碳氢化合物。

infrared background　红外背景，波长10～200微米的太空弥漫辐射，可能是恒星、太空尘、红外卷云和其他星系的联合微弱发射。

infrared cirrus　红外卷云，位于银河系平面上下、在波谱的红外波段发出辐射、在红外天图上显示为类似卷云的飘渺结构的冷气体尘埃云。

infrared radiation　红外辐射，波长比可见光长（在可见光谱的长波端以外），但比射电波短的电磁辐射。通常又分成三个波段：波长0.8～8微米的近红外；8～30微米的中红外；和30～300微米的远红外。长波红外辐射和短波射电辐射之间的区分不明确；波长刚刚大于300微米的波段通常叫做亚毫米辐射。

红外辐射就是你的手靠近火或热暖气管时感觉到的热。



相互作用星系。武仙座星系团（又名 Abell 2151）的这幅照片显示画面中央有两个正在相互作用的盘状星系。

Infrared Telescope Facility 红外望远镜设备，美国宇航局设在夏威夷莫纳克亚天文台的一具孔径3米的红外望远镜。

interacting galaxies 相互作用星系，通过引力场的影响互相扭曲的星系。通常，在星系团中，当两个星系彼此接近时就会发生这种情形。由此引起的潮汐扭曲可能产生成批的恒星，这些恒星在两星系之间形成明亮的物质桥。

interferometry 干涉测量，射电天文学广泛采用的将两个或更多独立天线通过电子技术连接起来观测同一个天体的方法。天线彼此可以相距数公里，以电缆连接，有时天线也可能放在地球的相对两边，完成同时观测后，将记录的数据事后用计算机进行电子综合。总之，综合的观测数据使天文学家得以获取比用其中任何单个天线可能达到的更细微尺度的信息，就好像使用了大得多的天线一样——这是综合孔径的一种形式。

同样的方法也用于光学天文中。光学干涉测量的开创者是威尔

逊山天文台的迈克耳孙及其同事，他们在1920年用安装在钢梁上的两个平面镜将同一颗恒星的光反射到100英寸（2.54米）胡克望远镜的主镜上。研究两个光束合并产生的干涉图样，使他们得以定出恒星参宿四的角直径为0.047角秒。

已经提出了好几种不同形式的干涉测量法并获得成功。但是，由于光的波长远小于射电波，所以用光学望远镜实现完美的综合孔径系统比用射电望远镜困难得多。目前正在试验的系统使用了相距数十米、用激光束连接的望远镜（见凯克望远镜）。

intergalactic matter 星系际物质，星系和星系之间的太空物质。星系际空间没有尘埃的迹象，但某些射电源的形状（像蝌蚪）说明它们是在稀薄气体中运动。根据21厘米特征射电辐射发现了星系际氢。暗物质的大部分也被认为存在于星系之间。

International Atomic Time（IAT, or from the French, TAI） 国际原子时（IAT，或法文TAI），以原子时为基准并由设在巴黎的国际时间局守护的标准国际时间系统。

International Sunspot Number 国际太阳黑子数，见太阳黑子数。

International Ultraviolet Explorer (IUE) 国际紫外探险者（IUE），美国宇航局1978年发射的在紫外波段（可见光谱蓝端以外）观测宇宙的卫星，所用望远镜的孔径为45厘米。这是包括英国和欧洲空间局的合作项目。IUE运行在地球同步轨道上，是一个长寿命天文卫星，应该能够工作到1990年代末[①]。

interplanetary dust 行星际尘埃，太阳周围的一个大物质云，可能是彗星碎裂时和小行星相互碰撞而抛出的物质形成的，它至少延伸到离太阳6亿公里处。

interstellar absorption 星际吸收，见宇宙尘。

interstellar chemistry 星际化学，在恒星与恒星之间的气体尘埃云中已经发现了许多种分子（到1990年代中期超过80种），虽然各种元素的原子核是在恒星内部的核聚变过程中制造出来，但在恒星内部温度和压力的条件下，原子却不能结合成分子。所以星际空间全部种类繁多的分子都是在我们今天看到这些分子的气体尘埃云中通过化学反应生成的。这些星际化学反应的复杂程度可从已证认的某些分子的复杂结构略见一斑——有些分子含有10个或更多原子，其中之一叫做

① 已于1996年9月停止工作。——译注

甘氨酸（NH_2CH_2COOH），是构成地球生物体的主要砌块——氨基酸的一种。

在星际空间发现的许多分子是由碳、氧和氮（恒星内部用氢和氦加工而成的最丰富的元素）以及氢本身所构成（见CHON）。碳和氢以及碳和氮构成的简单化合物（CH和CN）在1930年代末就用光谱学方法发现了，但在认识星际化学过程的道路上，直到1960年代发展了有效的射电天文学方法，证认出太空的多原子分子时，才取得第一个真正的进展。不久后就相继证认了羟基（OH）、水（H_2O）、氨（NH_3）和甲醛（H_2CO）。

1970年代，天文学家对太空中的有机分子（即含有碳原子的分子）种类之多和结构之复杂大感惊奇，这些分子包括乙醇（C_2H_5OH）。有一个巨大的分子云复合体（叫做人马座B2）所含乙醇的数量足以生产10^{27}升伏特加。除这些复杂分子外，星际云当然也含有简单分子，如氧（O_2）、氮（N_2）、二氧化碳（CO_2）和氢（H_2），它们都是稳定分子，很容易由我们已知存在的几种主要原子结合而成。

星际化学过程的关键是星际云含有大量石墨颗粒形态的碳。根据星际云对更遥远恒星的可见光的吸收方式，可以认为那里存在长度大约0.1微米的细长颗粒，其主要成分是碳，但也有一些水冰和硅酸盐。想到星际云中竟然混有煤烟似乎有点奇怪，然而碳是恒星内部核合成的最普通产物之一，而且有一类恒星（叫做碳星）的光谱表明它们的大气含有较丰富的碳，这些星显示有规则的变化，以一年左右的周期膨胀和收缩，同时将物质抛进星际空间。有证据表明，很多（如果不是全部）恒星都要经历这样一个活动阶段。

大多数复杂分子都在非常稠密的太空云中找到了，那里有足够多乌黑的尘埃起着屏蔽作用，使分子免受邻近年轻恒星强紫外辐射的照射而分解。这些云就是新的年轻恒星及其伴生行星形成的地方。分子大概是在尘埃颗粒表面上发生的反应中产生的，原子能够‘附着’在这些表面上并有机会相互作用，然后，分子从尘粒表面蒸发。所有这一切使得行星很可能在其存在的早期就‘播种’了十分复杂的分子；在产生恒星和行星的星际云中的任何分子很容易通过诸如大彗星碰撞的事件而沉降到行星上。

星际化学过程不仅仅涉及分子云中气体和固体尘粒形态物质之间的相互作用，而且涉及与恒星的相互作用。分子云坍缩并碎裂成恒星的过程比你可能想像的更为困难。这一过程开始时，释放的引力能转变为热，使云中的分子更快运动，



星际化学。这个典型的太空云（礁湖星云）是发生星际化学反应的场所。

并产生一个反抗进一步坍缩的压力。云的进一步坍缩仅当这一附加热量被改造成电磁辐射才有可能，而这可由云中的二氧化碳和水汽等等化合物的分子来完成。当一颗年轻恒星正在形成时，它发出大量紫外辐射，试图将云吹散。然而幸运的是，云中的碳尘埃颗粒（即煤烟）吸收紫外辐射，然后将它在红外波段再辐射出去，而红外辐射能够比较容易逃进太空。碳尘埃颗粒和星际化学反应产生的分子在这个冷却过程中起着重要作用，没有这种冷却，就不可能在与我们银河系类似的星系旋臂边缘上形成那么多的恒星。

1990年代初，天文学家在星际云中发现了环形复杂分子的证据。这个证据是在美国宇航局爱默斯研究中心探测到被认为是芘（$C_{12}H_{10}$）的频谱特征时得到的。芘的12个碳原子联合成一个环，与之相连的10个氢原子围绕在外。这是对弗雷德·霍伊尔及其同事昌德拉·威克拉马辛格1970年代和1980年代提出的颇有争议的主张的第一个独立支持。

霍伊尔和威克拉马辛格比其他

任何天文学家走的更远，他们声称，在分子云的辐射中看到的某些特征可以解释为叫做聚合物的很大的有机分子，这些聚合物由重复的单元联合成为链。比如，一种聚糖链的基本组件，叫做吡喃环的，乃5个碳原子和1个氧原子组成的六角形。许多环连接成链，其中，吡喃环的碳原子中的一个与另一个氧原子结合，后者又与链中的下一个吡喃环连接，依此类推。吡喃环一旦形成，就显示了生命的基本性质之一——它像一个样板，助长形成更多完全相同的环，让它们连接成为一个适于生长的聚糖链。

霍伊尔和威克拉马辛格认为，甚至更复杂的聚合物，比如纤维素，可能已经直接在星际云辐射的频谱特征中看到了（其他天文学家不同意对观测数据的这种解释），而生命分子本身可能已在云中出现，但尚未被探测到。这些思想曾经被嘲笑为异端，也许仅仅是因为将它们公之于众，霍伊尔失去了以他的核合成研究而应该获得的诺贝尔奖。实际上，霍伊尔研究小组拥有给人深刻印象的业绩纪录（例如，他们最早提出星际云含有煤烟颗粒的思想，这个思想现在已经无可怀疑地确立了），在太空甘氨酸和芘已得到证认的今天，他们的思想远非那么极端。

至少，在目前，难以避开的结论是，当一个地球这样的行星形成时，它的大气和海洋将很快混入复杂的有机分子。由于星际化学过程在银河系各处的分子云中显得一样，那么可以认为，其他行星上的复杂化学过程应该与地球上的相似，而从这些过程演变出的生物，其基本化合物也应该与我们的相同（包括氨基酸）。

补充读物：约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]；弗雷德·霍伊尔著《起风之处就是家》[20]。

interstellar cloud 星际云，分子云和中性氢区的通称。

interstellar dust 星际尘埃，见太空尘。

interstellar matter 星际物质，我们银河系的恒星与恒星之间的物质，约为银河系中明亮恒星所含物质的10%，包括星际云和太空尘。其他盘状星系中星际物质的数量大致与此相近。见星系形成和演化。

interstellar molecules 星际分子，在太空中，特别是分子云中找到的分子，它们是通过对光和射电波的波谱学研究发现的。已经得到证认的星际分子约100种，其中大多数是碳的化合物（有机分子）；有些分子含有的原子超过10个。

interstellar reddening 星际红化，见太空尘。

inverse beta decay 逆β衰变，原子核在放射衰变时发射一个正电子

(等价于吸收一个电子)的过程。见β衰变。

inverse square law　平方反比律，见基本力。

Io　木卫一，伽利略发现的木星的四个大卫星中最里边的一个。它的轨道离木星 422,000 公里，永远以同一面朝向木星。木卫一颜色淡棕黄，反射本领很高，其反照率达 0.61；它的直径为 3,630 公里，质量比我们的月球大 20%，是太阳系中火山活动最强的天体，这种活动的动力来自木星的强大潮汐力引起的内热。

ion　离子，获得或者（更常见的情况是）失去一个或多个电子、不再呈电中性而带有净电荷的原子。原子失去电子变成的离子，其总的正电荷等于失去的电子数。类似地，获得电子的原子变成负离子。

ionization　电离，从原子剥离（通常如此）电子或给原子增加（偶尔如此）电子而使原子变成离子的过程。

IRAS　爱拉斯［卫星］，美国宇航局 1983 年 1 月 25 日发射的红外天文卫星的常用简称。这是包括英国和荷兰的国际合作项目，在红外波段（可见光谱红端以外）对宇宙进行了仅仅十个月的观测，但绘制了覆盖 95% 天空的图，做出了很多重要发现，包括根据星系观测资料得出的时空平坦（见宇宙模型）的证据和红外卷云。IRAS 运载的望远镜的孔径为 57 厘米。

IRAS galaxies　爱拉斯星系，用 IRAS 最先证认的一类产生大量红外辐射的星系。用光学望远镜的观测表明，很多这样的天体是相互作用的盘状星系，它们彼此并合时引发了强烈的恒星形成活动。见星系形成和演化。

irregular galaxies　不规则星系，既不能分类为盘状星系，又不能分类为椭圆星系的任何星系。全部已知星系内大约 10% 是不规则星系。很多不规则星系似乎正经历着活跃的恒星形成过程，而用射电望远镜的观测常常显示星系中存在一个气体盘；这两个特征使不规则星系更像盘状星系族而非椭圆星系族的成员。

Isaac Newton Telescope (INT)　艾萨克·牛顿望远镜（INT），由格林尼治皇家天文台（RGO）管理、现在安装在加那利群岛的拉帕尔马岛、孔径 2.5 米的一具反射望远镜。INT 原先放在英国苏塞克斯郡的赫斯特蒙苏，1967 年开始观测；后来迁移到拉帕尔马岛，在那里换了一块新主镜，1984 年开始观测。也许造一台全新的望远镜更便宜，迁往新址是出于政治上的考虑，为的是证明 RGO 对新建于拉帕尔马岛的穆查丘斯罗克天文台做出的承诺。该望远镜也由西班牙和荷兰使用。

isotopes **同位素**，核中含相同数目质子但不同数目中子的原子。同一元素的同位素具有相同的化学性质，因为它们的每个原子有相同数目的电子（每个质子配一个电子），但它们有不同的质量。例如，氦有两种，叫做氦－3（核中有两个质子和一个中子）和氦－4（两个质子和两个中子）。

isotropy **各向同性**，在所有方向上都相同的性质。宇宙是各向同性的——不论我们观察什么地方，它（总体上）都显得一样。背景辐射则是极其各向同性的。

J

James Clerk Maxwell Telescope 詹姆斯·克拉克·麦克斯韦望远镜，夏威夷莫纳克亚天文台的一具亚毫米波（见红外天文学）射电望远镜，其抛物面天线直径为15米，由英国、荷兰和加拿大合作研制，爱丁堡皇家天文台管理，1986年底投人运行。

Jansky 央斯基，射电天文学用来表示从射电源接收到的能量的一种单位，用符号Jy代表。1Jy等于10^{-26}瓦每平方米每赫兹（1赫兹是1周每秒）。从这个滑稽可笑的小单位可以想像抵达地球上射电望远镜的信号多么微弱——全世界射电天文学家迄今从全部观测中收集到的所有射电源的信号加起来，还不够加热一杯咖啡所需要的水。

这个单位是为了纪念美国无线电工程师卡尔·央斯基（Karl Jansky，1905－50），他是探测到银河系射电辐射的第一人，因而也可视为第一位射电天文学家。央斯基是1931年在为贝尔电话实验室探查干扰无线电通讯的称为‘天电’的背景噪声来源时，做出了他的发现。

1905年10月22日生于俄克拉何马州诺曼的央斯基，在威斯康星大学修完物理后，1928年进入贝尔电话实验室。他用一具可转动的定向天线探查影响短波无线电通讯（当时舰船与海岸间的重要通讯手段）的天电来源。除了电气设备和雷电引起的干扰外，他还发现一种微弱无线电噪声每天定时出现。关键的是，央斯基领悟到这个源每天‘赶上’太阳四分钟，意味着它相对于背景恒星是固定的（由于地球在其轨道上运动，太阳过中天的时间，同背景恒星相比，每天落后四分钟；见恒星时）。央斯基证明噪声来自我们银河系中心的方向。

这一发现于1932年12月发表，它成了《纽约时报》的头版新闻，但直到第二次世界大战后才引起职业天文学家的注意；对此发生了浓厚兴趣的反而是一位业余天文爱好者格罗特·雷伯（Grote Reber）。央斯基在1950年2月14日死于心脏病；以他的姓氏命名的单位始用于1973年。

Jeans, James Hapwood 金斯，詹姆斯·哈普伍德（1877－1946），英国天体物理学家，他对天体物理学的主要贡献相当专深，但也写了很多科普著作，制作了关于宇宙的电台广播节目，并大力宣传宇宙的热寂的

思想。

金斯是一位记者的儿子，1877年9月11日生于兰开夏郡的奥姆斯卡克，三岁时随家庭迁往伦敦的图尔斯西尔。曾求学于剑桥大学，1901年成为该大学三一学院特别研究生。1904年发表《气体动力学理论》一书，一年后暂离剑桥前往普林斯顿大学工作。1910年返回剑桥，1912年后放弃正式教席，专心个体的研究并从事写作。他在1912年后的惟一正式科研职务是1923到1944年任威尔逊山天文台的'副高职'天文学家。

金斯研究了空腔内部辐射的特性，这在当时是与崭新的量子理论有关的重大课题。他提出一个描述这一辐射在长波部分性质的公式，现在称为瑞利－金斯定律，对认识黑体辐射极为重要。他也研究了恒星的动力学问题，并且是太阳系起源的'潮汐'理论的主要支持者之一，该理论认为行星是由一颗贴身而过的恒星从太阳拉出来的一股物质形成的，这一学说现在已不再当成行星形成过程的恰当描述。

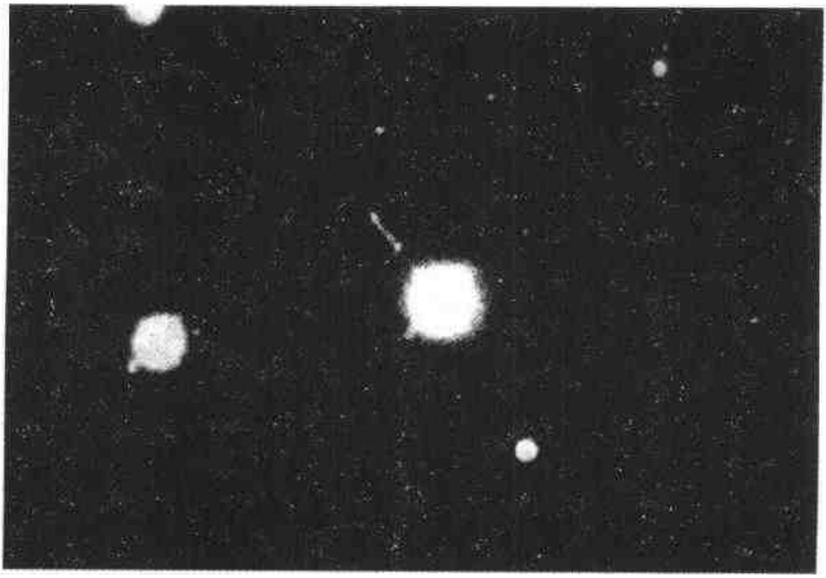
虽然金斯关注过恒星产生能量的途径，并且提出能量可能来源于电子和正电子湮灭这一颇具魅力的看法，但由于当时还不懂得核聚变过程，所以他的看法后来才知道完全错了。他很早（1928年）还指出过物质可能不断地在宇宙中创造出来，这可视为稳恒态假说的先驱，但他从未将这一思想发展为完整的宇宙模型。金斯在1928年被封为爵士；他写了很多科普著作，其中包括《我们周围的宇宙》（1929）和《科学的新背景》（1933）。

除科学工作外，金斯也是一位音乐专家，1931年被聘为皇家音乐学院的院长。他和第二任妻子合写于1938年出版的书《科学和音乐》，至今仍是音乐中科学问题的无可争辩的指南。金斯于1946年9月16日在多金逝世。

Jeans' criterion 金斯判据，判定具有某一温度和密度的气体云中容易发生引力坍缩的区域大小的参数。金斯判据只是一个近似推定，但它预言了，比方说，宇宙极早阶段的解耦时期通过引力坍缩形成的天体，其大小应该和一个球状星团相仿。

jet 喷流，从活动星系核或吸积盘伸出的任何物质束或电磁辐射束。所有尺度的喷流都已发现，从我们银河系内几倍于太阳质量的系统，直到巨型椭圆星系和类星体。喷流在射电波段尤为常见，往往被认为与黑洞周围的活动有关。

典型射电星系的射电噪声集中在星系两边的两个巨大瓣内。瓣可能离中央星系数十万秒差距，但有一条黯淡的尾迹（对于射电星系）



喷流。带有物质喷流的类星体 3C 273。喷流是类星体中心一个特大质量黑洞的活动产生的，它向太空延伸出去近 50 万秒差距。

或明显的喷流（对于类星体）与之相连。瓣大概是被星系或类星体中心区射出的喷流激活的区域，其中可能含有很久以前的一次巨大爆炸从星系驱赶出来的物质。如果这样一条喷流的长度，比方说，是 100 万光年，那就表示中心发动机朝同一个方向输送能量至少已经持续了 100 万年，因为没有任何东西跑得比光更快。

我们真正'看到'的（光、射电波或甚至 X 射线）是在磁场中运动的电子发出的同步加速辐射，引起这一切活动所需的发电厂是一个质量可能超过太阳 1 亿倍、周围有一个形成厚吸积盘的平环形凸起物的黑洞。物质向黑洞中汇集时，大量能量被释放，从活动区经由阻力最小的路径，通过两极上空（沿着平环形凸起物的自传轴），向外发射电磁辐射和接近光速的等离子体（基本上是电子和质子的混合物）。请想像一个肥硕的中央孔几乎挤没了的炸面包圈，将一根毛衣针穿过中央孔代表喷流，于是你就有了一个典型射电源中发电厂的粗

略形象。

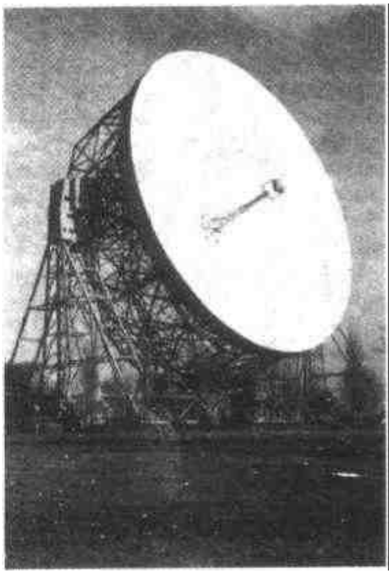
Jet Propulsion Laboratory（JPL）
喷气推进实验室（JPL），为美国宇航局研制和操作不载人深空探测器（如旅行者空间探测器系列和伽利略探测器）的研究中心。它设在帕萨迪纳，由加州理工学院按照与宇航局签订的合同进行管理。

Jodrell Bank　焦德雷班克，纳非尔德射电天文实验室所在地，位于英国柴郡马克勒斯菲尔德附近。该实验室是曼彻斯特大学的下属机构，以其直径250英尺（76.2米）全可动射电望远镜闻名遐迩。该望远镜1957年开始运营，1987年命名为洛弗尔望远镜以纪念伯纳德·洛弗尔爵士。

Jones，Sir Harold Spencer　琼斯，哈罗德·斯潘塞爵士（1890－1960），1933年继弗兰克·戴森之后的第十任皇家天文官，1955年从该职务退休，他是安排格林尼治皇家天文台迁往伦敦以外的苏塞克斯赫斯特蒙苏的主要人物。

Jovian planets　类木行星，见巨行星。

Julian calendar　儒略历，公元前46年儒略·凯撒（Julius Caesar）在罗马帝国颁行的历法体系，故名。儒略历实际上由亚力山大的索西琴尼（Sosigenes）制定，其后几十年稍有改动，公元8年由奥古斯都（Augustus）最后定型。



焦德雷班克，抛物面天线直径为250英尺（76米）的马克1A射电望远镜，是世界上第一台巨型抛物面射电天文望远镜。

儒略历按惯例将一年分成12个月，一年365日，但每四年中有一年含366日（这一置闰法直到奥古斯都统治时期才得以完善）。这表示儒略历的年平均长度准确等于365.25日，比真正的一年长度长11分14秒，所以儒略历逐渐变得与季节不同步；每128年相差一天。不过儒略历一直作为标准历法体系用到1582年，才在罗马天主教国家被格雷果里历（它规定了更

合理的置闰法）取代，而在俄罗斯则使用到20世纪初。

直到公元6世纪，罗马学者狄奥尼西（小）（Dionysius Exiguus）才建议将新历纪元从耶稣生年起算，他把圣母受孕定在公元1年的3月25日，耶稣诞生定在公元1年12月25日，但在把新历和旧历联系起来时，他往回计算年份时搞错了几年，所以耶稣实际上大概诞生于公元前5年。新历的采用，在比德（Bede）于8世纪和查理曼（Charlemagne）于9世纪的推动下，得以在欧洲缓慢地推广。

Julian Date（JD） **儒略日（JD）**，对不同历法记录的事件进行协调的标准方法，其名称容易引起误解，它和古罗马的儒略·凯撒或儒略历没有直接关系。该方法实为法国学者约瑟夫·斯卡利杰（Joseph Scaliger，1540－1609）提出，为纪念其父儒略·凯撒·斯卡利杰（Julius Caesar Scaliger）而得名。它随意规定公元前4713年1月1日为起始日，儒略日就是从那天起经过的天数。例如，1990年3月19日的儒略日是JD2,447,970。儒略日从正午（格林尼治平时）开始，而日常历法的日从午夜开始。

Jupiter 木星，太阳系最大的行星，从太阳向外的第五颗，每11.86年绕太阳运行一周，与太阳的平均距离等于5.2天文单位。它的直径是地球的11倍左右，质量约太阳的0.1%（地球质量的318倍），超过太阳系所有其他行星质量的总和。木星至少有16颗卫星和一组黯淡的环，它的主要成分是氢和氦。与其说木星是地球那样的行星，还不如说它更像一颗演化失败的恒星。

K

Kaluza-Klein model 卡鲁扎－克莱因模型，严格说，卡鲁扎－克莱因模型是将引力和电磁力统一起来的五维模型，1919年由德国的西奥多·卡鲁扎（Theodor Kaluza）首先提出，1926年瑞典物理学家奥斯卡·克莱因（Oskar Klein）考虑到量子理论的要求而加以改进（卡鲁扎和克莱因从未在一起工作）。这个模型可视为用四维时空描述引力的爱因斯坦广义相对论方程式的五维等价物，它给出的不仅仅是描述引力的爱因斯坦方程式，而且还有描述电磁辐射的詹姆斯·克拉克·麦克斯韦方程式。电磁力表现为'第五维度的涟漪'，就像引力表现为'第四维度的涟漪'一样。然而第五维度在哪里呢？

标准解释是，第五维度因紧致化而隐藏不见。这可比拟为一根水龙软管。软管由片状的二维物质制成，在第三维度中卷绕成圆形；但它从远处看来却像一根一维的线。时空中的每个点可以描述成由卷绕起来的五维时空中的螺环所构成，因而看起来像是四维的——条件是'卷绕'的尺度应远小于一个原子核。

随着作用于原子核内部的两种力的发现（见基本力），和涉及多维度的大统一理论的进展，'卡鲁扎－克莱因模型'一词已经应用于任何考虑多维度并要求紧致化的大统一模式。

Kamiokande 神冈中微子探测实验，位于神冈矿地下的日本中微子探测实验名称（'Kamioka'是日语'神冈'的英文，英文名'Kamiokande'乃'Kamioka Neutrino Detector Experiment'的缩略词）。该探测器从1987年工作以来，已经探测到预计的太阳中微子数量的大约一半（见太阳中微子问题）。

Kant, Immanuel 康德，伊曼努埃尔（1724－1804），德国哲学家，对宇宙学也有浓厚兴趣，在1755年发表的一篇短论中提出行星形成于围绕太阳的一个物质云的早期学说之一，这一思想后来也由皮埃尔·拉普拉斯独立提出。

Karl Schwarzschild Observatory 卡尔·史瓦西天文台，德国天文台，1960年创建在当时德意志民主共和国耶拿附近海拔350米的陶滕堡，它的主要望远镜是一具既可进行光谱学研究、又能用作施密特照相机的2米反射望远镜。

Keck telescope 凯克望远镜，一台直

径 10 米 (400 英寸) 的反射望远镜，是用于光学天文研究的威力最强大的地面设备。为了制成这样大的望远镜，凯克望远镜采用了将 36 块对角线长 1.8 米的六角形镜面拼接成蜂窝形阵列，并用计算机系统控制其运动，使它能像单一望远镜那样进行观测的创新原理。

凯克望远镜是夏威夷莫纳克亚天文台的一部分，由加州理工学院和加利福尼亚大学共同管理。它建成于 1992 年，名称取自提供建造经费的凯克基金会。

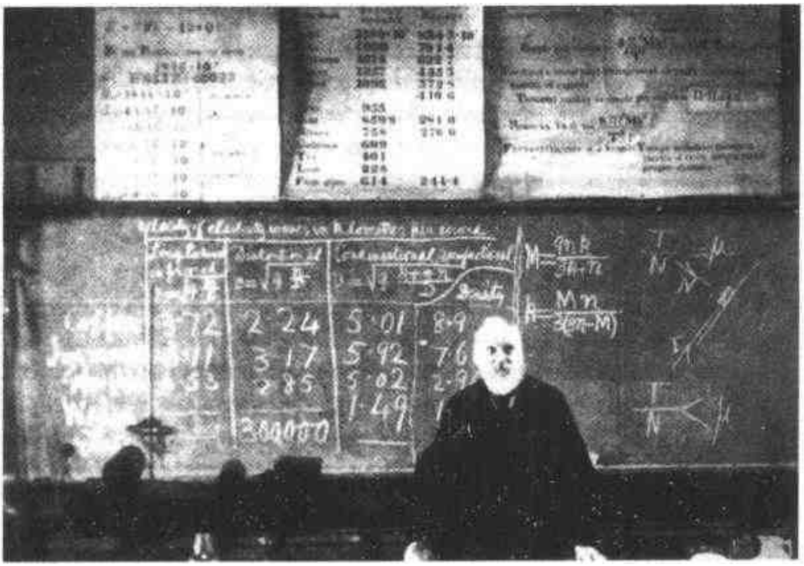
凯克望远镜能用于光学和红外天文研究，并且已经对类星体和用波谱学方法揭示的星系际空间物质的本质进行了重要观测。另一具姊妹望远镜——凯克Ⅱ——正在离第一具望远镜 85 米的地方建造，完成后，两具望远镜将用激光束连接成一台光学干涉仪。

Kelvin (Baron Kelvin of Largs, William Thomson)　开尔文 (拉格斯的开尔文男爵，原名威廉·汤姆孙，1824 – 1907)，苏格兰物理学家和电气工程师，对热力学和电磁辐射理论有很多贡献，成功地主持建成第一个跨大西洋海底电缆通讯系统。他对天文学的主要贡献是关于地球和太阳年龄的研究。

威廉·汤姆孙 1824 年 6 月 26 日生于爱尔兰的贝尔法斯特，他的父亲，詹姆斯·汤姆孙 (James Thomson)，当时是贝尔法斯特大学学会数学教授，1932 年威廉 8 岁时被聘为格拉斯哥大学数学教授。小威廉和他那也成了物理学家的哥哥詹姆斯 (1822 – 92) 在家里由父亲教育，然而威廉具有如此早熟的天资，以致 10 岁时就被正式注册入格拉斯哥大学学习科学 (那时叫做自然哲学)。但他没有在格拉斯哥毕业就转往剑桥大学，于 1845 年毕业。他在巴黎短期工作后，1846 年成为格拉斯哥大学自然哲学教授，并在那里终其余生。

汤姆孙早年对电和磁的研究，导致他参加铺设跨大西洋海底电缆供英美之间通讯的计划。1850 年铺设两根电缆都失败了，1866 年根据汤姆孙详细论证的原理铺设第三根获得成功；正是由于这一实用性的贡献，汤姆孙被封为爵士，并分享专利收入而成了富翁。1892 年，以他对维多利亚女王时代经济的贡献和同样显赫的科学成就，他被封为男爵，尽管在这之前他早已被尊为他那个时代的英国科学权威。封爵后他用流经格拉斯哥大学校园的一条小河的名字开尔文为姓。

汤姆孙在发展热和运动的科学 (热力学) 中也有同样重要的贡献，这也是一个蒸汽机起着如此重要作用的工业国家极为关注的。在这一方面，他提出 (1848 年) 一种‘绝对’温度标，它在一切实用目的上



开尔文男爵(1824 - 1907)。

与摄氏温度标完全相同，但零点则对应 -273.16℃；这就是现在所称的开氏温度标。汤姆孙还在1851年系统地表述了著名的热力学第二定律，指出热不能自发地从较冷的物体流向较热的物体，而这意味着宇宙的热寂。

利用热和热力学知识，汤姆孙得以计算一个大如地球的岩石球，从初始的熔融状态冷却到目前状态需要多久。他的计算是精确的，但没有考虑地球内部至今仍在通过那时尚未发现的放射衰变产生热量。他也根据所能想像到的最高效的能量来源——因收缩而缓慢释放的引力能——估算了太阳的最大年龄(见开尔文-亥姆霍兹时标)。

汤姆孙计算出太阳和地球的年龄不可能大于几千万岁，这使他与19世纪后半叶的地质学家和达尔文进化论者发生了冲突，后两者都认为地球肯定比汤姆孙计算的要年老得多。这些冲突，随着放射性的发现，和允许质量转为能量的狭义相对论的提出，而得到解决。

作为开尔文男爵的汤姆孙于1907年12月17日在额尔郡的拉格斯去世，他被安葬在威斯敏斯特大

教堂，离牛顿墓不远。

Kelvin-Helmholtz timescale 开尔文－亥姆霍兹时标，一颗类似太阳的恒星能够仅仅通过自身重量作用下的收缩而持续辐射能量的时间长度——大约2～3千万年。

在19世纪中叶，天文学家和物理学家对太阳如何维持它的高温感到迷惑不解。他们意识到，如果太阳完全由在纯氧大气中燃烧的煤构成，那么它大约不到10万年就会烧尽，而根据地质方面的证据，他们猜想地球已经被太阳加热了比这长得多的时间。德国的赫尔曼·亥姆霍兹和英国的威廉·汤姆孙（后来成为开尔文男爵）独立得出这个问题的相同解答。他们证明，仅仅通过自身缓慢收缩将引力能转变为热，太阳能够像目前这样明亮地照耀几千万年。

但是，即使开尔文－亥姆霍兹时标也和地质学和基于自然选择的达尔文进化论有矛盾，后者认为地球上的生物已经缓慢进化了数亿或者数十亿年了。物理学和生物学的冲突直到19世纪末发现了放射性，以及后来阿尔伯特·爱因斯坦创立了狭义相对论，才得到解决。狭义相对论指出另一形式的能源（质量转化成能量）原则上能在进化论要求的时间尺度上维持太阳的高温。不过，开尔文－亥姆霍兹收缩过程十分完美地描述了太空气体云在收缩时如何开始加热其中心部分、如何又将它加热到聚变反应得以开始的整个图景。

另见质子－质子反应。

Kelvin temperature scale 开氏［温度标］，用开尔文男爵姓氏命名的温度标，开氏273.15度对应于摄氏0度。见绝对零度、摄尔西乌斯。

Kepler, Johannes 开普勒，约翰尼斯（1571－1630），发现行星运动三定律的德国天文学家。这些定律帮助艾萨克·牛顿建立了万有引力定律。

开普勒1571年12月27日生于斯图加特附近的魏尔市，父亲是雇佣兵，祖父曾经是魏尔市市长。他三岁时得了天花，造成影响终生的视力低下和手疾。孩提时的开普勒



约翰尼斯·开普勒（1571－1630）。

对1577年大彗星留下深刻印象，从此保持着对天文学的兴趣。他在图宾根大学求学时修完哲学、数学和天文学，1591年获硕士学位。然后开始学习（可能是在他家庭的坚持下）为期三年的神学课程，但在最后一年（1594年）他得到奥地利格拉茨新教教会学校的数学教席，便离开了图宾根。

开普勒在教学的同时，开始发表其数学和谐是宇宙结构支柱的思想，他的工作引起老一辈天文学家，包括第谷·布拉赫和伽利略的注意。身为路德教教徒的开普勒卷入了当时的宗教纠纷，在他结婚一年后的1598年被迫离开了格拉茨。他在布拉格呆了一年，然后回到格拉茨，但再次被逐。回到布拉格后，1600年他成了第谷的助手。1601年第谷逝世，开普勒接替他成为鲁道夫二世皇帝的皇家数学家。他完成了第谷天文表的编制（这项任务断断续续一直干到1627年），计算了火星的轨道，在布拉格期间发现了他的三定律中的两条——所有这些都是在30年战争背景下进行的。1604年发表《光学》巨著。对1607年出现的彗星（现在叫做哈雷彗星）也进行了观测和记录。

但开普勒终于还是被当时的各种纠纷波及。1611年他的妻子和儿子双双病逝；同年在布拉格发生内战，鲁道夫被废黜。一年后开普勒迁往林茨，当上了地方数学家和上奥地利诸州的检查员。1613年开普勒再婚，在林茨生活了14年。期间，他的母亲被诬为女巫在符腾堡州受审，经过三年拖拖拉拉的审判才被无罪释放。开普勒第三定律作为他的《宇宙和谐论》一书的一部分于1619年发表，这是一部充满神秘色彩的著作，第三定律隐蔽在全书五章的最后一章中。到这时，开普勒伟大的天文学研究已告结束，他在四年内发表的七卷著作《哥白尼天文学概要》中总结了他的成果，介绍了哥白尼的学说，对17世纪中叶的天文学有很大影响。

1628年开普勒应弗里德兰公爵华伦斯坦将军之聘移居西里西亚的萨冈。1630年他又一次遭到宗教迫害，不得不离开萨冈，在前往巴伐利亚州雷根斯堡的途中病倒，高烧不止，11月15日长辞人世。

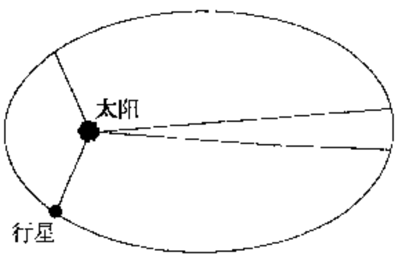
开普勒逝世一年后，他的小说《梦》得以出版，它讲述一个人到月球旅行的故事，很可能是第一部科学幻想小说。

Keplerian telescope　开普勒望远镜，一种将两个凸透镜放在一个镜筒中的简单折射望远镜，它具有大的视场和高的放大率，但所成的像是上下颠倒和左右反转的（这对天文观测没有什么影响！）。

Kepler's laws　开普勒定律，约翰尼

斯·开普勒在17世纪初期利用第谷·布拉赫收集的数据发现的行星运动三定律。第一定律宣称，行星在椭圆轨道上运动，太阳居于椭圆的一个焦点；第二定律宣称，行星中心和太阳中心间的假想联线在相等时间内扫过相等的面积（所以行星在其轨道上离太阳较近的一端运动得较快）；第三定律宣称，其轨道周期（相对于恒星量度）的平方与行星到太阳的平均距离的立方成正比。

艾萨克·牛顿把这些定律解释为太阳和每颗行星之间的引力遵守平方反比律的结果——也就是说，行星在轨道上每一点所受力的大小，正比于1除以太阳到位于该点的行星之间的距离的平方。同样的定律适用于任一在封闭轨道上围绕任一其他天体运动的天体（包括绕地球运动的月球和人造卫星）——广义相对论效应起重要作用的极端情形（如脉冲双星）除外。



开普勒定律。开普勒认识到，行星在椭圆轨道上运动速率的变化方式，总是使得在相等时间内‘扫过’相等的面积，这一洞察力导致引力的平方反比律的发现。

Kerr, Roy Patrick 克尔，罗伊·帕特里克（1934–），对认识黑洞做出了重要贡献的新西兰数学家（克赖斯特彻奇的坎特伯雷大学数学教授），他求出了广义相对论方程式的克尔解。

Kerr black hole 克尔黑洞，见克尔解。

Kerr-Newman solution 克尔–纽曼解，阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的一个解，它描述的是一个带电荷的自转黑洞，是1965年由匹兹堡大学的以斯拉·纽曼（Ezra Newman）及其同事在克尔解的基础上提出来的。这是关于黑洞的最普遍的数学描述。在克尔–纽曼解中令自转为零即得赖斯纳–诺德斯特罗姆解；令电荷为零则得克尔解；令电荷和自转均为零得史瓦西解。

Kerr solution 克尔解，对不带电荷的自转黑洞的数学描述。这是最可能存在于我们宇宙中的一类黑洞。阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的这个解是新西兰人罗伊·克尔1963年在美国得克萨斯大学工作时求出的。克尔求解方程式时纯粹从数学考虑出发——他并未期望得出任何有物理意义的结果，但却发现他的解说明了时空是如何被

自转黑洞拖着旋转的。其结果之一是，黑洞中心的奇点不再是一个数学点，而是一个环。根据方程式，有可能俯冲通过这个环而出现在另一个时空区(可能是另一个宇宙，或是我们这个宇宙的另一个地方和/或另一个时间)。这使人们想到有可能利用黑洞作为时间机器。

另见虫洞。

kiloparsec (kpc) **千秒差距 (kpc)**，距离单位，等于 1,000 秒差距。

kinetic energy **动能**，物体由于运动而具有的能量。你必须注入能量才能使一个物体跑得更快，而当该物体的运动被制止时，这个能量以热的形式重新放出。这就是汽车停下来时刹车发热的原因。

Kuiper, Gerard Peter **柯伊伯，吉拉德·彼得** (1905 – 73)，荷兰出生的美国天文学家，为重新激起天文学家研究太阳系的兴趣起了主要作用，并对美国宇航局发展不载人行星探测器的计划做出了贡献。除其他成就外，他提出了彗星起源理论，首创利用飞机运载红外望远镜在大气吸收层外进行观测（见柯伊伯机载天文台）。

Kuiper Airborne Observatory (KAO) **柯伊伯机载天文台 (KAO)**，用一架洛克希德 C141 型举重明星式飞机运载的用于红外天文研究的飞行天文台，由美国宇航局从设在加利福尼亚州莫菲特费尔德的爱默斯研究中心进行操作，观测时的飞行高度可达 12 公里，超出了大气中 99% 的吸收水汽，所用望远镜的直径为 0.9 米。该天文台从 1975 年开始工作，其名称来自制定宇航局空间科学计划的吉拉德·柯伊伯。天王星的环就是用 KAO 发现的。

Kuiper belt **柯伊伯带**，离太阳大约 35 到 1,000 天文单位间、与行星处于同一平面但超出冥王星轨道、可能含多达 10 亿个天体的一个彗星带，其名称来自天文学家吉拉德·柯伊伯。柯伊伯带的彗星偶尔可在引力干扰下进入太阳系内区。半人马星就可能来自柯伊伯带。另见奥尔特云。

L

Lagrange, Joseph Louis 拉格朗日，约瑟夫·路易（1736－1813），意大利出生的法国数学家，他在动力学理论方面的贡献对计算行星、卫星和月球的轨道十分重要。

Lagrangian points 拉格朗日点，二体系统（如地球和月球组成的系统）轨道平面上、小物体可能被引力场抓牢的稳定点，是1772年约瑟夫·拉格朗日在理论上最先找到的。有人认为拉格朗日点将是向太空大规模移民的合适场所。

Landau, Lev Davidovich 朗道，列夫·达威多维奇（1908－68），生于阿塞拜疆的俄国理论物理学家（他的父亲是石油工程师，母亲是医生），以液氦性质的研究成果获1962年诺贝尔奖。他14岁人巴库大学，16岁转到列宁格勒大学（与乔治·伽莫夫同在该校）继续学习，1927年毕业，21岁时由列宁格勒大学授予相当于博士的学位。

1932年，朗道独立得出了稳定白矮星质量的昌德拉塞卡极限，并进一步推测恒星内部可能存在中子核心，这一工作直接导致罗伯特·奥本海默的中子星理论研究，以及稳定中子星质量的奥本海默－弗尔科夫极限的确定，这是走向黑洞理论的重大一步。朗道也是一位杰出的教师，他在莫斯科创立了强大的理论物理学派，还是一系列深具影响的教科书的作者之一［另一作者是里弗什茨（E.M.Lifshitz, 1917－69）］。

Laplace, Pierre Simon, Marquis de 拉普拉斯，皮埃尔·西蒙·侯爵，德（1749－1827），法国数学家和天文学家，他一生在科学上的贡献仅次于艾萨克·牛顿而居第二。

拉普拉斯1749年3月28日生在诺曼底的博蒙，有些资料称他出身一个贫穷的农家，但有证据表明，拉普拉斯之父虽然不是富翁，却也远在贫困线之上，曾任地方行政官，可从苹果酒贸易中赚钱。拉普拉斯从7岁到16岁在本尼迪克特教团管理的地方学校当走读生，他父亲希望这能使他将来以宗教为业。但他却显露了充分的学术才能，而获准前往卡恩学习，然后于1768年迁往巴黎，在军事学校任教，并成了该校的数学教授。

此后几十年发生了法国大革命、战争、君主政体复辟等一系列事件，在这整个动乱期间拉普拉斯青云直上。他成了法国科学院领导人物之一，革命前和革命后都在政

府任职（包括制定公制的度量衡委员会委员），同拿破仑讨论科学，在参议院供职，1803 年甚至短期担任内政部长。1814 年在参议院投票拥护恢复君主制后，他的从政生涯暂时走向低落，不过他得到了回报，路易十八国王复位后于 1817 年封他为侯爵。

拉普拉斯将牛顿的行星运动研究推进到一个崭新的高度而赢得了他的科学声望。即使是牛顿在这个课题的某些方面也曾经束手无策。牛顿懂得，单独一颗行星按照开普勒定律绕太阳运动时，它能在一个完美的椭圆轨道上永远运动下去。但如果有两颗或更多行星绕太阳运动，那么附加的引力影响看来会打破平衡，最终将把行星推离它们的轨道。牛顿未能回答何以这种情形没有发生，他只得转而求助上帝，认为需要上帝的手时不时轻推一下，将行星送回到它们的正确轨道。

而拉普拉斯在 1780 年代中叶证明，事实上这些扰动是能够自我纠正的。当时已经知道，木星的轨道在缓慢缩小，而土星的轨道在扩大。拉普拉斯证明这不过是这两个巨行星以 929 年周期相对于严格开普勒轨道摆动这一长期循环的一部分。这个发现导致可能是拉普拉斯做过的最著名的评论。当天体力学的这一突破性成就以书的形式发表时，拿破仑向拉普拉斯指出，他没有看到书中提到上帝，而拉普拉斯回答说‘我不需要这样的假说。’

拉普拉斯也是最早考虑到可能存在黑洞的人物之一（与约翰·米切尔无关），提出了行星形成于太阳周围的原始物质云的学说。正如牛顿为进行他的天文学计算发明了微积分，拉普拉斯在其天文研究中也发展了今天仍在运用的新的数学方法。他还奠定了概率论的基础。拉普拉斯在 1827 年 3 月 5 日逝世于巴黎，正好是牛顿死后 100 年的同一月份。

Large Magellanic Cloud　大麦哲伦云，见麦哲伦云。

large-scale structure　大尺度结构，就我们关心的可观测宇宙而言，‘大尺度’是指大量星系的红移所揭示的宇宙可见物质总体分布中大于 100 百万秒差距的尺度。宇宙在这些尺度上最具特色的性质是可见物质分布在巨大空穴周围的薄膜和纤维中，外观就像大量彼此交错的泡——在最大尺度上宇宙显现为多泡沫结构。

虽然薄膜和纤维只占可见宇宙体积的大约 2%，但它们实质上包含了全部可见物质。这些结构中最大的一个叫做巨壁（又译长城），离我们刚刚不到 100 百万秒差距，它是一个由星系团和超星系团组成的膜，所占区域有 225 百万秒差距

长，80 百万秒差距宽，但只有 10 百万秒差距厚。

宇宙的这种多泡沫外观，和其他因素一样，说明宇宙的总密度十分接近平坦时空所要求的临界值（见宇宙模型）。计算机模拟表明，如果宇宙中有大量暗物质，而明亮星系只在总密度达到峰值水平的地域形成，那么明亮星系的分布与实际宇宙中的分布非常相似。

Las Campanas Observatory 拉斯·康帕纳斯山天文台，建在智利拉塞雷纳附近海拔 2,300 米的拉斯·康帕纳斯山上的天文台，属华盛顿卡内基基金会所有。该天文台的主要仪器是 2.5 米和 1 米反射望远镜各一具，还有一具 6.5 米反射望远镜正在建造之中。

Leavitt, Henrietta Swan 莉维特，亨丽爱塔·斯琬（1868 – 1921），曾在哈佛大学天文台与爱德华·皮克林一道工作、发现了造父变星的周光关系的美国天文学家。

Lemaître, Georges Édouard 勒梅特，乔治·爱德华（1894 – 1966），比利时天体物理学家、宇宙学家和牧师，他对宇宙的描述成为大爆炸理论的第一个版本。

勒梅特 1894 年 7 月 17 日生于比利时的沙勒罗瓦，先在鲁芬大学学习建筑工程，后自愿参军，第一次世界大战期间任炮兵军官，曾荣获比利时十字军功章。

战后，勒梅特重返学校生活，1920 年在鲁芬大学完成博士学业，然后入神学院，1923 年被正式任命为牧师。但他实际上并未从事牧师事务，而是用比利时政府提供的奖学金出访英国的剑桥大学和美国的哈佛大学及麻省理工学院。那正好是埃德温·哈勃和他的同事开始寻找膨胀宇宙的证据的时期，当勒梅特 1927 年返回比利时就任鲁芬大学天体物理学教授时，他对这一问题的最新进展了若指掌。此后他终生在鲁芬工作。

1927 年，勒梅特发表了阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的解，这个解指出宇宙是膨胀的；它实质上与几年前亚力山大·弗里德曼的发现相同，但勒梅特当时并未获悉弗里德曼的工作。与弗里德曼不同的是，勒梅特特别指出星系可能是能够显示宇宙膨胀的‘试验粒子’。

这篇论文当时几乎没有引起人们的注意（它发表在一家很不出名的刊物上），直到亚瑟·爱丁顿知道了这篇文章并请人将它译成英文发表在 1931 年的《皇家天文学会月报》上，才引起了轰动，而这已经是在宣布发现了星系红移和距离之间的关系（哈勃定律）之后了。此后，勒梅特提出了宇宙起源于一个‘原始原子’的思想，这个原始原子是只比太阳大 30 倍左右却含有

我们今天所见宇宙中全部物质的球。这个球像一个不稳定原子核的裂变那样发生爆炸（过去200亿到600亿年间的某个时刻以前）而创造了膨胀的宇宙；所有这些最后都总结在他的著作《原始原子假说》(1946年发表）中。

这是第一次试图从科学上说明导致宇宙开始膨胀的创造事件，虽然勒梅特的思想对1930年代大多数天文学家的观点没有很大的影响，但他成功地在广大听众中普及了关于原始原子（或'宇宙蛋'）的见解。当乔治·伽莫夫和他的同事在1940年代开始发展大爆炸思想时，他们比勒梅特更多地按照弗里德曼（伽莫夫过去的老师）的传统进行研究，不过勒梅特终其余生一直是大爆炸思想的坚定支持者，并亲眼看到它被接受为标准宇宙模型。1966年6月20日，即宣布发现被认为是大爆炸火球余辉的背景辐射一年后，勒梅特在鲁芬逝世。

length contraction **长度收缩**，见菲茨杰拉德收缩。

lens galaxy **透镜星系**，见椭圆星系。

lenticular galaxy **透镜状星系**，见椭圆星系。

leptons **轻子**，组成一切原子物质的两个基本粒子族之一。轻子族有六个成员——电子、μ介子和τ粒子，以及它们的伴生中微子。另见夸克。

Le Verrier, Urbain Jean Joseph **勒威耶，于尔班·让·约瑟夫**（1811－77)，1846年通过研究天王星轨道的摄动预言天王星之外还存在一颗行星的法国天文学家。他把他的计算送交柏林天文台，该台在1846年9月23日发现了海王星。英国天文学家亚当斯也独立做出了同样的预言。

Lick Observatory **利克天文台**，美国境内第一座建在山顶上的天文台，1888年在加利福尼亚州海拔1,283米的汉密顿山上建成，经费由一位行为怪诞的百万富翁詹姆斯·利克(James Lick）捐赠。利克死后葬在92厘米折射望远镜（当初是利克天文台的主要仪器，今天仍然是世界第二大的折射望远镜）基墩下面。利克天文台由圣克鲁斯的加利福尼亚大学管理，目前的主要望远镜是一具3米反射望远镜。

life cycle of a galaxy **星系生活史**，见星系起源和演化。

life cycle of a star **恒星生活史**，见恒星演化。

life in the Universe **宇宙中的生命**，生物的最简单实用定义是，它能通过从周围环境获取各种原料并将这些原料重新排列以制作新生物体拷贝的方法来复制自身。晶体虽然在提供合适原料的情况下也能'生长'，但它显然不是生物；与晶体不同的是，生物的生长、复制和自

我修复过程发生在生物体内部，并能戏剧性地改造原料，以致极端情况下的单个细胞（受精卵）可以将它摄人的原料转变成包含数十亿个细胞的复杂生物体；而晶体只能制作更多全同的晶体。

生命得以维持的最关键之点是它能够吸取能量，用能量创建复杂性和秩序，这表观上和热力学第二定律矛盾，因为这个定律声称宇宙中的无秩序程度（熵）总是增加的(见时间之箭)。然而，生物代表的局部熵减少总能被其他某个地方更大的熵增加所抵消。对地球上的生物来说，我们这个减少了熵的泡是用太阳内部产生我们所需能量的变化造成的大量熵增加予以补偿的。

有些科学家和科幻作家（常常是兼任两种角色的人物）推测，凡有能量可供消耗的任何地方都能存在生物，而且它们的形态我们也许觉得很奇怪。在极端情形下，这可能发生在星际物质云内部，使云本身具有感觉力（例如见弗雷德·霍伊尔的小说《黑云》[29]），或在中子星表面的极大引力和极强磁场条件下（见罗伯特·福瓦德的《龙蛋》[30]）。

但是，尽管这些推测引人入胜，近年来最激动人心的发现之一却是星际气体尘埃云中有相当数量的物质参与对地球生物十分重要的那一类碳基化学过程(见CHON、星际化学)。这种物质不但存在于银河系内,也存在于其他星系中——例如,甲醛这种化合物已经利用它的特征射电发射在星系 NGC 253 中探测到了。结论是，导致地球生物得以进化的复杂碳基化学过程是形成太阳系的物质云中复杂程度稍低的化学过程的自然发展，而复杂化学过程可能已经在其他类地行星存在的地方以类似方式演变出了生物。这意味着，即使暂时不考虑不同类型行星，如巨行星上生物是否能够进化成功，我们银河系今天也可能拥有数百万个包含由碳基化学过程进化而成的生命形态的文明世界（见德拉克公式）。也可以设想星系 NGC 253 拥有远不止一个（至少如此吧!）与我们地球文明相仿的文明世界，那里的碳基生物可能已经发展了射电天文学，而且他们也许正在讨论在我们喜欢称之为‘我们的’银河系的这个恒星集合中发现甲醛可能具有的重要性哩。

单细胞生物（类似今天仍然存活的那种藻类）证迹已在年龄远大于 30 亿岁的岩石中发现，而岩石的形成年代被确定为地球形成后不到 10 亿年。看来，生物在地球冷却到它可能生存时就几乎立刻出现了，这更加强了年轻行星播下了来自太空的复杂有机物种子这一主张，而这些种子中包括了氨基酸，比如甘氨酸。

有些研究者走得更远，他们认为在年轻时期的地球上就曾经播种了来自太空的真正生物细胞。弗雷德·霍伊尔和他的同事昌德拉·威克拉马辛格认为，早在太阳系形成之前，生命已经在星际云中进化了很长时间。弗兰西斯·克里克（他曾经和詹姆斯·沃森因发现生命分子DNA的结构而分享诺贝尔奖）持另一种观点，即银河系已经被几十亿年前当银河系本身还年轻时就出现了的文明生物蓄意播种了生命。这个观点叫做胚种广布假说，它的根据是其他研究者（特别是瑞典人斯凡特·阿伦尼亚斯）的早期推测，但它仍然没有回答最初的文明来自何处的问题，因而似乎不如另一种观点有道理。不过，两种观点都把进化的可能时间尺度从地球史的大约45亿年扩大了2到3倍（取决于宇宙的年龄究竟有多大）。看来，一个无法规避的结论是，地球表面上的生物并不是白手起家的（也就是说，不是从碳、氧、氮和氢的简单原子和分子开始的）。

近来，一些科学家从一个不同角度看待生命，提出了关于总体宇宙的新观念。1970年代，詹姆斯·拉夫洛克（James Lovelock）提出整个地球可看成一个生物体（盖亚[①]）的假说。这个观念是有争议的，但它促进了新的思维方式，对维持我们这类生物在地球上的合适生存条件的各种反应的作用也已经有了新的悟力。纽约锡拉丘兹大学的李·斯莫林将这种类比外推，提出整个星系也可以看成生命系统：

> 旋涡星系的物理过程中看来存在某种生态体系，通过这一体系，导致恒星形成的结构物——旋臂和与之相连的气体尘埃云——能够以比相关动力学时间尺度长得多的时间尺度维持住……它们必定包含我们在各种非平衡状态以及生物系统中看到的那种自我组织的物质及能量的循环。

斯莫林将这个类比进一步外推，提出整个宇宙也许可能看成有生命的，而且已经进化成功（严格的达尔文进化论意义上）了好几代早期宇宙（见婴儿宇宙）。安德列·林德也设想过达尔文式的宇宙演化情景。

将星系和宇宙看成确有生命的观点远远没有被广泛接受，但是，正如盖亚假说促使地球科学家从不同角度考察我们居住的行星一样，这个‘生物学范例’至少鼓励了天文学家以新的洞察力来思考宇宙和它的内容物。天文学家开始使用生

① 希腊神话中的大地女神，大地的化身，被认为是人类的祖先。——译注

物学中诸如进化和种群动力学等概念了，尽管他们小心谨慎地强调这些都‘只是隐喻’而已。进化种群思想，比如，已经改变了我们对星系形成和演化的认识。

补充读物：弗兰西斯·克里克著《生命自身》[41]；约翰·格里宾著《宇宙的发端》[6]。

light 光，在天文学中，光通常指电磁辐射中人眼能感受到的部分，其波长范围大约是 380～750 纳米。电磁波谱的这个部分与紫外辐射（短波端）和红外辐射（长波端）邻接；颜色与虹的颜色范围一样，即从红（长波端）开始，经过橙、黄、绿、蓝和靛，直到紫（短波端）。

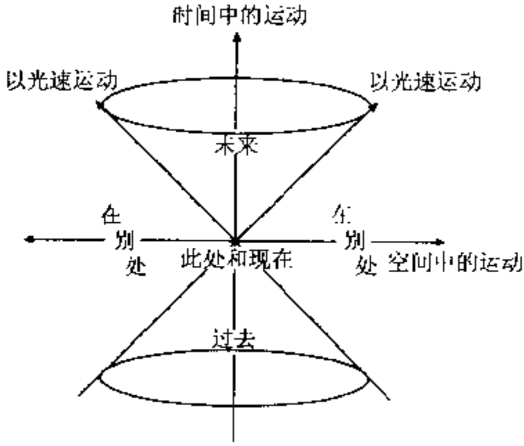
我们的眼睛经过进化和适应而对光敏感，是因为光的客观存在——太阳发射大量的光，并且光不被地球大气吸收而直达地面①。天文学是通过观察太阳、行星和恒星的光而首先发展起来的，观察手段起初全凭肉眼后来才借助望远镜；采用感光范围比人眼略宽的现代探测器和照相底片后，光学天文学的波段范围扩大到 300～900 纳米，但仍称为光。光与其他形式的电磁辐射如X射线和射电波之间没有本质区别；它们不过是波长不同而已。

从量子理论在 20 世纪头 25 年得到发展以来，光也被认为具有粒子的属性。在合适情况下，光的能量可视为由叫做光子的粒子束所携带。很多现代探测器，例如电荷耦合器件，实际上是既能记录微弱天文光源的个别光子到达事件，又能经过长时间曝光将记录到的光子显示成像的光子计数器。

light cone 光锥，描述一道闪光通过时空运动的一种方法。在三维空间中，光从光源向外的传播是球对称的。为了在纸上表示四维时空，相对论学家建议用一个图，其中向上代表时间流逝，纸面上的线代表空间维度（这种表示法乃从赫尔曼·闵可夫斯基的工作发展而来）。闪光从纸面上一个点向外的传播由纸面上向上运动的对角线表示，每根对角线与垂直线成 45 度角。如果现在你想像将纸绕垂直轴旋转，这些线将扫出一个锥式曲面——光锥。在这一表示中，任何比光传播得更慢的信号走出的轨迹将在这个未来光锥内部。

光锥之所以重要，是因为阿尔伯特·爱因斯坦用他的狭义相对论证明，任何携带信息的信号都不可

① 可见光也被地球大气吸收掉百分之几十，但大部分可以穿透大气而到达地面。——译注



光锥。闵可夫斯基图将全部空间和时间表示在一幅图上。位于'此处和现在'的我们只能得到过去光锥内部事件的消息，也只能影响未来光锥内部的事件。

能传播得比光快。这意味着在时空中一点发生的任何事件只能影响到它自己的未来光锥内部的时空区。把图中光线向纸面下方延伸，便得到未来光锥的镜像反转，称为过去光锥。同样，由于任何信号不能传播得比光快，时空中任一点只会受到它的过去光锥内部发生的事件的影响，或者说只能得到其过去光锥内部事件的消息。视界问题之令人困惑，是因为天空中相对两边的区域尽管位于彼此的光锥之外，却显得完全一样。

light curve　**光变曲线**，显示一个天体，如一颗变星的亮度如何随时间的流逝而变化的图。光变曲线可以用天体的绝对星等或视星等表示，它们的差别不如曲线的形状重要，因为曲线形状可以说明发生变化的是什么类型的天体。光变曲线显示的亮度变化可能是天体的真正变化所引起（例如造父变星的亮度变化），也可能是双星系统的一个成员遮挡其伴侣的光而造成。天体在电磁波谱其他部分的亮度变化（比如在X射线波段的变化）也称为光变曲线。

光变曲线不一定显示周期性——例如，超新星亮度的突然增加和缓慢衰减也用光变曲线表示。但若光变曲线真的显示周期性变化时，它们可以提供丰富的其他信息——例如，双星系统中恒星或黑洞的轨道和质量方面的信息。

light minute　**光分**，光在一分钟内传播的距离。见光年。

light second　**光秒**，光在一秒钟内传播的距离——也就是299,792.5公里。见光年。

light time　**光行时间**，光或其他电磁

辐射在两点间传播所需的时间。太阳和地球间平均距离的光行时间是499秒，或者说地球到太阳的平均距离等于499光秒。

light year **光年**，科幻作家经常使用、天文学家偶尔使用的一种距离单位。一光年等于以299,792,458米每秒的速率传播的光在一年内走过的距离——也就是9.46×10^{12}公里（9.46万亿公里），或0.3066秒差距。光年是距离而非时间的单位。光月、光日、光时、光分和光秒，都是用类似方式由光在相应时间间隔内传播的距离导出的。

Linde, Andrei Dmitrivitch **林德，安得列·德米特里维奇**（1948－），生于俄罗斯的宇宙学家，在发展叫做暴涨的描述极早期宇宙的理论中起了很大作用。

林德1948年3月2日生于莫斯科，1966到1972年在国立莫斯科大学学习物理，然后在莫斯科列别杰夫物理研究所攻读粒子物理学和宇宙学博士学位。他的博士学位研究课题涉及宇宙相变（类似水到冰的转变），后来成了暴涨宇宙学的基本要素；他于1974年获博士学位后即留在列别杰夫研究所工作。在该所工作期间，它进一步发展了这一工作，并对认识规范理论中的费密子做出了重要贡献。

1970年代末叶，莫斯科的宇宙学家对以现在所称的暴涨概念为基础的宇宙模型极感兴趣，然而却是美国的艾伦·古斯（是他提出了暴涨宇宙学这一名称）的独立工作才于1980年代初引起世界广大天文学家注意到暴涨的可能性。1982年林德（在一篇当年引用最多的论文中）提出一个改进的暴涨版本，叫做‘新暴涨模型’；1983年他又推出了混沌暴涨模型，1986年指出宇宙可能是一个自我复制的婴儿宇宙系统的一部分。

林德在1980年代末前往美国，先是访问哈佛大学，后在斯坦福大学获得永久职务，成为该校的物理学教授。1990年代中期，他仍在发展宇宙是一个自我复制系统的思想，认为这个系统既生产了其他暴涨宇宙幼芽，它本身又是从另一个宇宙长出的幼芽。另见单极子宇宙。

LMC **大麦云**＝大麦哲伦云。

LMC X-3 **大麦云X－3**，大麦哲伦云中的一个X射线源。大麦云X－3是一个双星系统，其轨道周期为1.7天；它的X射线几乎肯定来自一个黑洞周围的吸积盘。

Local Group **本星系群**，包含我们银河系在内的一个小星系群的名称。本星系群还包括仙女座星系、麦哲伦云和几个矮星系。见星系团。

local standard of rest (LSR) **本地静止标准**（LSR），以太阳为中心、

使所有其他近邻恒星的运动平均为零的一个参考系。太阳相对于 LSR 的运动速率约 20 公里每秒，LSR 本身以大约 250 公里每秒的速率绕银河系运动（见宇宙年）。

local supercluster　本超星系团，星系和星系团组成的一个大集合，它包括了本星系群、室女座星系团和后发座星系团。这个巨大实体由吉拉德·德伏古勒在 1955 年首先辨认出，其半径约 3 千万秒差距；本星系群靠近它的边缘。

Lockyer，（Joseph）Norman　洛基尔，（约瑟夫·）诺曼（1836 – 1920），根据太阳的光谱特征发现氦的英国天文学家，注意到太阳活动与气候周期之间联系的第一位科学家，《自然》杂志的创办人。

洛基尔是从一个认真的业余天文爱好者私下走进科学殿堂的。1836 年 5 月 17 日他出生在拉格比市，父亲是一名外科医生兼药剂师。他受的是传统教育，在伦敦的陆军部供职，家住温布尔顿，1861 年结婚，是一个热心的业余太阳观测者。

洛基尔是幸运的，他正好碰上了能够使用 1850 年代中叶由古斯塔夫·基尔霍夫（Gustav Kirchoff，1824 – 87）和罗伯特·本生（Robert Bunsen，1811 – 99）发展起来的光谱学新方法的好时候，他紧紧抓住了这个机会。洛基尔用光谱学方法证明，太阳黑子的昏暗是那里的较冷气体吸收光而造成的，到 1860 年代末，他一边在陆军部工作，一边利用当时还比较新颖的多普勒效应研究了太阳大气中气体的运动。

通过 1868 年一次日食时对太阳大气的光谱研究和皮埃尔·让桑（Pierre Jansen，1824 – 1907）对同一次日食的观测资料，洛基尔在太阳光谱中发现了不能解释为任何已知元素所产生的谱线，他推测太阳上一定存在某种尚未在地球上发现的元素，并用希腊语的太阳一词（helios）给它起名为氦（helium）。直到 1895 年，地球上的氦才由威廉·拉姆齐爵士（Sir William Ramsay，1852 – 1916）和威廉·克鲁克斯爵士（Sir William Crookes，1832 – 1919）发现。两年后，1897 年，洛基尔被封为爵士。

1869 年洛基尔参与创办了科学杂志《自然》，自任编辑 50 年之久。他作为科学家的声望使他得以离开陆军部，随后从事过两项其他工作，而于 1890 年出任南肯辛顿太阳物理观象台台长。1911 年他年届 75 岁时才辞去这一职务，因为该观象台迁往剑桥，他则想留在英格兰的南方。

洛基尔对在英国和法国北部发现的巨石遗迹深感兴趣，他认为巨

石阵①中圆圈和大道的排列一定准确标志了建造时期夏至日的日出方向。由于从地球上看的太阳位置有微小变化，到洛基尔时代，巨石的排列看来已经偏离1度零12角秒。根据这一偏差量，他断言巨石阵是公元前1840年前后建造的，误差±200年。利用放射性碳（碳-14）的现代年代测定法确定的建造年代大概是公元前1848年前后，误差±250年。

洛基尔参加过几次日食远征观测队，他曾指出（发现电子之前很久）太阳的异常谱线可以解释为破裂成更简单组分的原子所产生。在太阳物理观象台迁至剑桥后，直到离世前不久，他继续用他在希德茅斯的私人天文台积极从事观测。他在1920年8月16日逝世于德文郡的萨尔康姆雷吉斯，享年84岁。

look back time　回顾时间，光从正在观测的特定天体到达我们所经过的时间。由于光速有限，离我们越远的天体，它发来的光到达我们所经过的时间越长。从一颗10光年外的恒星来的光需要10年才能到达我们；从一个5亿光年外的类星体来的光需要5亿年才能到达我们；即使从太阳来的光也要8分多钟才能到达我们，所以太阳的回顾时间是8分多钟。

这意味着天文学家研究更远天体来的光（或其他电磁辐射）时，他们确实是在回顾更久远的过去。在你阅读这几行字时，如果有某个魔术师把太阳输出的光掐灭了，那也要8分多钟以后地球的天空才会黑下来。创造了蟹状星云的那次超新星爆发是中国天文学家在1054年从地球上看到的，但爆发的地点离我们却有6,500光年左右。所以，爆发产生的光也要经过这么些年的时间才能到达地球，而中国天文学家在1054年看到的事件实际上发生在公元前5446年前后。

我们研究遥远的天体，有些是通过它们在恐龙漫游地球的年代发出的光，有些是通过它们在太阳系形成之前发出的电磁辐射。通过研究广大宇宙中不同距离的天体，如星系，天文学家能够弄清宇宙自大爆炸中诞生以来是如何变化的。

Lorentz, Hendrik Antoon　洛伦兹，亨德里克·安东（1853-1928），荷兰物理学家，最著名的贡献是提出了描述运动物体属性（如它的长度）如何受其运动影响的公式。见狭义相对论和菲茨杰拉德，乔治·弗兰西斯。

① 一译‘圆形石林’，英文为‘Stonehenge’，乃一巨石群，建于新石器时代晚期和青铜时代早期（约公元前1800-1400），坐落在英格兰索尔兹伯里以北。——译注

Lorentz-Fitzgerald contraction 洛伦兹-菲茨杰拉德收缩，见菲茨杰拉德收缩。

Lorentz transformation equations 洛伦兹变换公式，亨德里克·洛伦兹提出的一组公式，用于描述在不同惯性系中测量长度和时间间隔时必须引入的改变。

乔治·菲茨杰拉德最先（19 世纪末）指出，一些试图找到地球通过以太（当时认为是光的传播介质，就像水可作为波的传播介质一样）运动的证据的实验（如迈克耳孙-莫雷实验）之所以失败，是因为实验用的所有测量杆和仪器在地球运动方向上缩短了一个确定的量（见菲茨杰拉德收缩）。1904 年，洛伦兹将这一思想进一步发展成现在叫做洛伦兹变换的公式，说明了不仅是运动物体的长度，而且它的其他属性，在一个以不同速度运动的观察者看来，都必须加以‘变换’才能使以太不至被探测到。

洛伦兹最初提出这些公式时，在詹姆斯·克拉克·麦克斯韦推导出来的电磁场方程式中加进了观察者的相对速度，为的是描述以不同速度运动的观察者看到的电磁场的情景。一年后，阿尔伯特·爱因斯坦证明，虽然不需要什么以太，这些变换公式却是他的狭义相对论的自然结果，并且适用于力学体系，而不仅仅是电磁场。告诉我们运动物体将缩短并增加质量，运动的钟将变慢的，是狭义相对论；告诉我们运动物体缩短多少，增加质量多少，运动的钟变慢多少的，则是洛伦兹变换。

Lovell, Sir (Alfred) (Charles) Bernard 洛弗尔，（阿尔弗雷德·）（查尔斯·）伯纳德爵士（1913－），英国天体物理学家，第二次世界大战时研究雷达，战后以他在雷达方面的专门技能（和多余的雷达设备）促进、开创和发展了英国的射电天文学。他建立了设在焦德雷班克的天文台，并自任首任台长。

Lovell Telescope 洛弗尔望远镜，见焦德雷班克。

Lowell, Percival 洛韦尔，珀西瓦（1855－1916），美国天文学家，39 岁才开始全力从事天文研究，此前是多种行业的商人，当过外交官和作家。他提出了著名的关于火星生物的见解，建立了洛韦尔天文台，在维斯托·斯里弗（Vesto Slipher）完成其导致发现星系的红移的研究中，他的鼓励起了很大作用。

Lowell Observatory 洛韦尔天文台，珀西瓦·洛韦尔在 1894 年建在亚利桑那州弗拉格斯塔夫的天文台，台址高度 2,210 米，至今仍作为私人天文台运作，在原址有四台望远镜，另有四台（最大的是 1.8 米反射望远镜）在 24 公里外的安德森梅萨。

luminosity **光度**，一颗恒星或其他天体的光度是它每秒钟辐射的能量。光度有时用所有波长的电磁辐射总量表示，叫做热光度；有时则指某个特定波长范围的辐射。一颗恒星的光度决定于恒星的表面温度和表面积——较大的恒星比同温度的较小恒星辐射更多的能量。所以，表面温度相同（因而颜色相同）的两颗恒星可能有极不同的光度，而光度相同的两颗恒星可能有完全不同的表面温度（和颜色）。

但是，恒星发射的总能量根本上取决于恒星为了抗衡自身重量引起的坍缩而在其核心部分产生的压力；所以质量和光度之间存在确定的关系（见质光关系），这个关系适用于一切通过核聚变产能来支持自身的恒星（它不适用于由量子效应产生压力来支持自身的白矮星和中子星）。

恒星和其他天体的光度常用太阳光度的倍数表示。太阳的光度等于 3.83×10^{26} 瓦特．有些暗星的光度只有太阳光度的大约万分之一，而有些短寿命亮星的光度可达太阳光度的百万倍。恒星的光度直接决定了它的绝对星等。

luminosity function **光度函数**，对一个标准空间体积，如一立方秒差距或一立方百万秒差距中具有不同光度（或绝对星等）的天体数目的一种量度。光度的计量可以针对可见光、或射电波，或任一其他选定的电磁波谱区。光度函数给出不同光度天体的相对数目，并提供我们银河系的天体数量从一处到另一处如何变化的信息。

例如，离太阳大约 10 秒差距以内，恒星光度函数的峰值出现在绝对星等 15 附近。太阳的绝对星等是 4.79，按照星等的定义，可知较大的数值对应较暗的恒星。所以，本地的光度函数说明，我们周围占统治地位的是比太阳暗得多的恒星——光度只及太阳万分之一的 M 型矮星。球状星团中的情况完全不同，那里较亮的恒星占优势，等等。

在整个宇宙中，星系和类星体的光度函数表示这些天体的平均光度如何随红移而变，因而能说明平均光度在宇宙演化过程中（见回顾时间）是如何变化过来的。天文学家由此得知，在宇宙年轻时期，类星体既比较亮，数量也更多。

lunar eclipse **月食**，当月球经过地球的阴影——即月球和太阳正好位于地球的相对两边时，即发生月食。地球阴影有两部分。在本影中，太阳被地球完全遮挡，因而是完全黑暗的；在半影（本影周围）中，太阳被地球部分遮挡。月球进入地球阴影时，它先通过半影，其亮度逐渐减弱（人眼几乎感觉不出来）。但月球进入本影时，黑影移过它的

表面，直到整个月面变暗（如果是月全食）。当月球从地球阴影的另一边出来时，便反过来重复此过程。如果仅仅月球的一部分通过本影，就叫做月偏食。

月食只能发生在满月的时候，这时，太阳、地球和月球成一直线，整个月面被照亮，所以只要天气晴朗，保证能清楚看到这种壮观场面。然而并不是每次满月都会发生月食，因为月球绕地球的轨道稍稍（大约有5°的交角）偏离了黄道（地球绕太阳的轨道平面）。只有当满月时刻正好是月球在其轨道上穿过黄道平面时，才会发生月全食；这意味着月全食的发生具有一定的略长于18年的周期。由于月食的发生时间能够确定得如此精密，所以古代月食记录有时可用来推定历史事件的年代。

Lyman alpha cloud　赖曼α云，见赖曼α森林。

Lyman alpha forest　赖曼α森林，高红移类星体的光通过星系际空间的冷氢云（赖曼α云）时，受到云的影响而在光谱中产生的密集谱线，有时把它简称为赖曼森林。

氢是最普通和最简单的元素，它的光谱研究得很透彻。现在称为赖曼线（或赖曼系）的氢光谱特征的本质由美国物理学家西奥多·赖曼（Theodore Lyman，1874－1954）在20世纪头20年做了详细研究。这些线中最亮的一根叫做赖曼α，出现在紫外波段，其实验室波长等于121.6纳米。

对于高红移的类星体，这根很强的氢发射线向光谱红端移动如此之远，以致它出现在可见区。因为它是从波长甚至比蓝光更短的紫外区出发，所以红移先将它移到可见光谱的蓝区，尽管如此，这种移动仍然‘朝向’光谱的红端。能够进行详细研究的普通星系，其红移只达到0.3左右，但赖曼森林则是大得多的距离的探针。若红移为1.7，赖曼α线将出现在330纳米处，对这个以及更高的红移，它在典型类星体光谱的不同波长能量分布图中显现为一个高山般的峰。但在很多情况下，紧靠这个高峰的蓝边（对应稍微小些的红移），光谱中有很多凹坑，就像一系列深而窄的谷。这是冷气体在类星体的光通过它时抽掉一部分能量而形成的吸收线；它们是太空中位于我们和类星体之间的不同红移的冷气体云造成的。

赖曼森林覆盖的红移范围相当于膨胀宇宙中几亿或几十亿光年跨度，而单个类星体的光可能包含几十根不同红移的赖曼α线。对这些线的细节进行的统计研究表明，它们起源于与直径约10,000秒差距的小星系差不多大的暗云中，而每个云的质量仅为太阳的1,000万到

1亿倍。这样的云不可能在太空孤立存在——它们将像水汽蒸发一样很快消散。它们一定是被它们身处其中的暗物质的引力维持在一起的。因此，赖曼森林是对宇宙近乎平坦（见宇宙模型）并含有大量暗物质这一观点的支持。

用哈勃空间望远镜做的观测已经表明，在天空上相距很近的两个类星体（Q0107－025A 和 Q0107－025B）的光谱中出现了完全相同的赖曼 α 线。这说明云必定非常大，同时遮挡了两个类星体的光。它的大小可能超过了 30 万秒差距（比我们银河系的可见部分大 10 倍以上）；这些观测还表明它可能是一个平坦的气体物质盘或气体物质膜。

Lyman alpha line 赖曼 α 线，见赖曼系。

Lyman series 赖曼系，美国物理学家西奥多·赖曼 1914 年在氢的紫外光谱区发现的谱线系。这些线是对红移测定特别有用的特征‘指纹’。其中最重要的赖曼 α 线在无红移光谱中的波长是 121.6 纳米。高红移天体的这根线移到了光谱的可见区。

M

Mach, Ernst 马赫,恩斯特(1838－1916),奥地利哲学家和物理学家,他的思想对当时正在发展狭义相对论的阿尔伯特·爱因斯坦的观点产生了影响。

1838年2月18日马赫生于今属捷克共和国、当时为奥匈帝国一部分的摩拉维亚的图拉斯;两年后随家迁往维也纳附近的下齐本布朗。他的父亲受过很好的艺术和科学方面的教育,当时已退休到当地的一家农场,在那里他给少年恩斯特讲授学校课程和农耕实用知识并传授诸如木工等各种技能。马赫受家庭教育直到15岁,然后就读本地高中(大学预科),1855年进入维也纳大学。1860年获得物理学博士学位,并在维也纳讲授物理和数学,直到1864年应聘为格拉茨大学数学教授。1866年改任格拉茨大学物理系主任,但不久后于1867年前往布拉格大学任实验物理学教授,一直工作到1895年被任命为维也纳大学的哲学教授(准确头衔是历史和归纳科学理论教授)。1897年他严重中风,1901年从哲学教授职务退休,但他仍然活跃,并担任奥地利议会上院议员12年。

正如他这份简历所表明,马赫并不局限在一个狭窄的研究领域。他在实验工作中研究过视觉和听觉。他也对波的性质感兴趣。他在1887年发表了一些照片,显示了抛射体通过空气运动时引发的激波,为褒奖他在这一领域的工作,1929年规定了以他的姓氏命名的马赫数:马赫数1等于声速,马赫数2等于两倍声速,依此类推。他还是最早对多普勒效应进行详细研究的科学家之一。

但是,马赫对科学的主要影响更多的还是在哲学方面。他说科学应该拒绝任何不能直接观察的东西,认为我们关于世界的一切知识都是通过感觉得来的,所以任何不能被感知的东西都是没有意义的。这种思维方式对1920和1930年代量子理论标准解释(哥本哈根解释)的发展有很大影响。但这个有关何物可视为'真实'的极端观点也使马赫拒绝原子概念。马赫还认为,发现过程中的顺序对如何解释所发现的事物及如何判定其重要性有巨大影响。马赫的一些思想在现代科学史家对诸如夸克等概念在物理学中如何确立其地位的研究中得到了共鸣(见约翰·格里宾著《薛

定谔的小猫》[40])。

艾萨克·牛顿关于存在作为一切其他事物测量参照的绝对空间和时间的观念不是可以直接感知的东西,所以被马赫拒绝。马赫争辩说,像惯性这样的性质依赖于一个物体与宇宙中所有其他物体的关系(见马赫原理)。这些思想,特别是马赫在其1863年发表的《力学》一书中所阐明的,强烈影响了爱因斯坦的狭义相对论研究。但马赫并不认可爱因斯坦采用了他的思想,他临死前(1916年2月19日死于慕尼黑)还在准备反驳爱因斯坦理论。

McCrea, Sir William Hunter 麦克雷,威廉·亨特爵士 (1904-),爱尔兰宇宙学家、数学家和天体物理学家,对20世纪科学的很多领域都有重要贡献。

麦克雷1904年12月13日生于都柏林,那时爱尔兰尚未独立,所以他曾经是英国公民。他的父亲是教师,三年后举家迁往英格兰,先到肯特郡,后到德比夏定居。麦克雷先就读德比夏的切斯特菲尔德语法学校,后入剑桥大学三一学院攻读学位。1926年毕业后,到格廷根大学工作,作为他后来在1929年获剑桥大学博士学位的研究课题的一部分。1930到1932年他在爱丁堡大学当数学讲师,然后到伦敦皇家学院任数学助理教授。1936年被聘为贝尔法斯特女王大学数学教授,正式任此职直到1944年,但从1943到1945年他实际上在伦敦参与海军部的战时工作。然后,他到伦敦哈洛维皇家学院任数学教授20年,直到1966年离任前往苏塞克斯大学创建天文研究组。在苏塞克斯他被任命为理论天文学研究教授。虽然他在1972年正式退休,但被授予苏塞克斯大学名誉教授头衔,继续积极从事研究直到1990年代。他在1985年封为爵士。

麦克雷在博士论文中就对天体物理学做出了他的第一个重要贡献,这篇论文用光谱学方法证明太阳上的氢比任何其他元素要多得多。这在1920年代末是令人吃惊的新发现,因为以前天文学家一直



威廉·麦克雷爵士(生于1904年)。

认为太阳的物质成分和地球的差不多，以铁和重元素最丰富。又过了20年左右人们才理解了太阳物质的真正成分，并把它与维持太阳热度的聚变过程联系起来，但在正确道路上的第一步则是麦克雷［以及与麦克雷无关的德国人阿布勒希特·翁索德（Albrecht Unsöld）］在1920年代末迈出的。

麦克雷还研究了星系的演化、恒星和行星的形成以及星际云中分子的形成。他和爱德华·米尔恩(Edward Milne)一道提出了一个以牛顿力学为基础的宇宙模型，却得到了基于广义相对论的宇宙模型的全部特征。这个牛顿宇宙学是不完善的，因为它不能处理'宇宙边界'上发生的事情——边界条件——但仍然提供了洞察宇宙如何运作的动人见解。它还意味着，艾萨克·牛顿以后的任何数学家也许已经发现了描述膨胀宇宙的方程式，而如果宇宙膨胀的发现早于广义相对论的提出，米尔恩-麦克雷模型就可能对这种膨胀做出合理解释。

麦克雷也是稳恒态假说本质的最重要研究者之一，他指出创造场如何能够与物质创造地点相联系。对创造场性质的这一数学描述与对现在所称的暴涨的数学描述本质上是一样的。麦克雷认为恒星形成于很多小天体的堆积而不是单个气体云的坍缩；参与了太阳中微子问题的争论；对量子物理学的发展也有贡献。他在1970年代提出彗星形成于银河系的旋臂中，在太阳绕银河系运动时被太阳系抓住，并且将这一观点与有关冰河时期的一种新理论联系在一起。

麦克雷对20世纪的科学也有很多'非学术'的贡献。例如，他从1940年都柏林高级研究院建院起即担任院长达10年之久；1983年（78岁高龄）奉皇家学会委派前往阿根廷恢复福克兰群岛战争后的友好科学关系，并以他通常的机敏和魅力完成了任务。温和、极富幽默感而又倔强的麦克雷是一位出色的教师，写了好几本诸如相对性理论等方面观点明确的书；他过去的很多学生纷纷成了天文界有影响的人物（有一位成了本书的作者)。1963年他在皇家天文学会会长就职演说中评论说：'每当年轻人告诉我他想研究宇宙学时，我总是感到惊奇；我觉得宇宙学是可以偶然碰上的东西，而不是什么能够挑选的东西。'他，无疑是偶然碰上了宇宙学。

MACHO Project 马乔计划，加利福尼亚和澳大利亚天文学家搜寻马乔体的合作项目，使用的仪器是装在斯特罗姆洛山和赛丁泉天文台1.3米反射望远镜上的特制电荷耦合器件照相机，项目负责人是加利福尼亚州劳伦斯利弗莫尔实验室的查尔

斯·奥尔科克（Charles Alcock)。

MACHOs 马乔体，大质量致密晕族天体的英文（Massive Astronomical Compact Halo Objects）首字母缩略语。这个名称是特意选来与WIMP配对的（不少天文学家有着孩子气的幽默，喜欢讲双关俏皮话①)。MACHO代表宇宙中暗物质的一种可能形态，它们（如果存在）由本质上与太阳、恒星和我们身体中的物质同类的重子构成。

大爆炸的核合成标准模型考虑了重子物质数量可能多达明亮恒星和星系形态物质的10倍，这还不足以使宇宙成为平坦的（见宇宙模型)，但却足以提供为解释星系团中星系的动力学特性和包括我们银河系在内的个别星系的自转特性所要求的暗物质。

这种暗重子物质的很小部分可能取气体和尘埃形态。既然未见到大量太空气体和尘埃的遮光作用(一些局部天区——如银道面——除外)，所以大部分暗重子物质必定是锁闭在大致与暗星相当的致密天体之中。这里有两种可能：暗重子物质要么存在于大量大小如行星(与木星大小相仿）的天体中，它们因为太小而不能燃烧核燃料（失败的恒星，常称为褐矮星)；要么是宇宙年轻时期在很大的恒星中被加工，因恒星爆炸遗留下来的物质形成的大质量黑洞。

引力透镜效应实验，如奥格勒实验，已于1990年代初获得银河系延伸晕中存在马乔体的证据，它们最可能是褐矮星，但也不排除黑洞的可能性。

Mach's Principle 马赫原理，认为惯性是由物体与宇宙中一切其他物质相互作用所引起的思想。伽利略看来最早认识到，不是物体运动的速度、而是它的加速度揭示了是否有力作用于物体。在地球上，总是有外力（如摩擦）在起作用，所以仅仅为了保持物体的匀速运动也必须一直维持对该物体的推力。但自然趋势则是在无外力作用时保持同一方向的等速运动（见牛顿定律)。可是你参照什么东西来测量速度和加速度呢？

艾萨克·牛顿认为宇宙中存在一个由绝对空间定义的优先参考系。空间是摸不着抓不住的狡猾家伙——你不可能把一个钉子锤进空间并测量你相对于钉子的速度。但牛顿觉得可用旋转物体实验——特别是一桶水——来演示优先参考系的存在。他在1686年发表的伟大

① ‘wimp’的意思是‘软弱无力的人’，而‘macho’是西班牙文，意思是‘强壮男子’。另见95页脚注。——译注

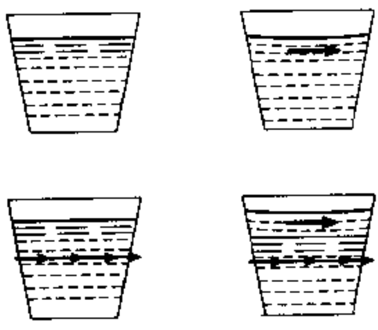
著作《自然哲学的数学原理》中对这种实验的描述如下：

> 绝对运动和相对运动的区分，可通过从圆周运动的轴退离的力来看……如果旋转一个用长绳挂起来的桶，使绳子拧得紧紧的，然后将桶注满水，并保持桶和水静止；于是，在另一个力突然作用下，桶将反过来旋转，同时绳子将放松自己……水的表面开始时是平的，就像桶开始运动之前一样；但随着桶将它的运动逐渐传达给水，水也将开始明显地旋转起来，并一点一点地从中心后退，在桶的边缘升高，变成凹面形状（正如我亲眼所见），而且运动越快，水面升起越高。

牛顿这里谈到的就是我们所称的离心力，而他的‘正如我亲眼所见’也是贴切的，因为与他的很多前辈和同时代人不同，牛顿确实进行了实验——他不光是想像理想世界中事物‘应该’如何如何。搅动一杯咖啡，你就能亲眼见到较小规模的同一现象，咖啡液体被离心力推向边缘（并升高），中间留下一个凹坑。但牛顿在这里强调的重要东西，并不是相对于容器的运动，而是在某种意义上的液体的绝对运动。

实验开始时，桶运动起来了，尽管水和桶之间有相对运动，但水面仍是平的。后来，摩擦使得水也旋转起来了，尽管现在水相对于桶没有运动，凹坑却出现了。最后，你可以抓住桶，使它停止转动；现在桶里的水仍继续转动，水面中央仍有凹坑，恰如被你搅动的那杯咖啡一样。不晓得水是怎么‘知道’它在旋转并做出得体反应的。然而，旋转是相对于什么东西而言呢？

牛顿说它是相对于固定的（或绝对的）空间旋转。但 30 年后，爱尔兰哲学家和数学家（也是一位主教）乔治·伯克利（George Berkeley，1685 – 1753）争辩说，一切运动都是相对的，都必须参照某种东西进行测量。他说，既然‘绝对空间’不可察觉，它就不能作为



马赫原理。牛顿水桶实验。
左上：桶和水都静止，水面平。
左下：桶旋转，水静止，水面平。
右下：桶和水都旋转，水面弯曲。
右上：桶静止，水旋转，水面弯曲。

参考点。他继续指出，如果宇宙中除一个孤立的球外空无一物，那么谈论这个球的任何运动都是没有意义的。即使有两个完全光滑的球相互绕转，那也无法测量这种运动。但'假定突然创造出了满天恒星，那么我们就能通过球相对于宇宙不同部分的位置来推断它们的运动。'总之，伯克利论证的是，由于你杯中的咖啡知道它在相对于远方恒星旋转，它才不乐意地在杯子边缘升高。

同样的论据可应用于直线上的加速度；按照伯克利的论证，当你坐在一辆从静止到加速运动的汽车中感到后背上有推力，那是因为你的身体知道它正在相对于远方恒星和星系加速。但伯克利超前于他的时代 150 年，虽然 18 世纪对他的思想也有一些讨论，但它们基本上被忽略了。直到 1860 年代恩斯特·马赫重提这一思想，才再次引起人们对它的兴趣。

马赫对伯克利提出的思想几乎没有什么补充，不过他阐述了一个很有魅力的看法，他说，如果我们想把地球赤道凸起带解释为离心力所引起，那么'究竟是将地球看成绕它的轴自转，抑或地球静止而恒星绕地球公转，那是无关紧要的。'是相对运动造成了凸起带。

阿尔伯特·爱因斯坦是从马赫的工作了解到加速度必须相对于恒星进行测量这一思想的，他还给它起名'马赫原理'。当爱因斯坦着手发展其广义相对论时，他打算提出一个将马赫原理作为自然结果包括进去的理论。他只取得部分成功——仅当宇宙封闭（见宇宙模型）时，广义相对论方程式才有可能（甚至也不可能）将遥远天体和加速运动之间的这种反馈包括进去。但由于暴涨理论提出宇宙确实封闭，所以从爱因斯坦时代来看，这并不构成多大的缺点。

如果本地参考系，即静止标准，真的由宇宙中全部物质的某种平均效应确定，就应该有某种检测它的方法。一种方法是将一个试验物体放入一个（质量很大的）球形物质壳中，并让球壳相对于遥远星系快速旋转。如果马赫原理正确，就应该有一个来自旋转球壳的试图使试验物体跟随运动的微小拖动作用。适度的效应可能通过研究绕地球轨道上自由下落状态的陀螺仪的行为检测出来；按照这一思路的实验已由斯坦福大学的一个小组设计出来，不过还没有送入太空。

还有另一种考察这一问题的方法。伯克利和马赫称为'恒星'的东西实际上是一个本身自转的系统——银河系——的一部分。甚至在其他星系得到确认之前（确实是在马赫诞生以前），威廉·赫歇尔和其他天文学家就得到了银河系是恒



麦哲伦云。照片中的小麦哲伦云是一个不规则星系，是我们银河系的伴星系。

星组成的扁平盘的可靠证据，其形状清楚表明是自转和离心力所造成。19世纪末，马赫（或另外一些哲学家）很可能已经论证了只有两种办法可以看到整个银河系处在离心力影响之下。要么牛顿是正确的，于是整个'恒星'系统相对于绝对虚无空间自转；要么伯克利和马赫是正确的，这时必定存在银河系广大范围内的某种物质分布，它确立了作为银河系自转测量参照物的参考系。根据马赫原理和我们对银河系自转的知识，本来是可以在埃德温·哈勃建立宇宙尺度之前几十年，就预见到大量遥远星系的存在！

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]。

Maffei galaxies　梅菲星系，1968年才由意大利天文学家帕奥罗·梅菲（Paolo Maffei）发现的两个星系，因为它们差不多就在银河系平面上，除在光谱红区和红外区外，几

乎被星际尘埃遮挡（见星际红化）。虽然这两个星系几乎在同一方向，但彼此没有关系。梅菲I是本星系群的成员，是大约1,000千秒差距外的一个巨型椭圆星系；梅菲II是一个盘状星系，距离约5,000千秒差距，大概不是本星系群成员。

Magellanic Clouds **麦哲伦云**，两个小的不规则星系，是我们银河系的伴星系。它们到我们的距离大约是离银河系最近的巨大星系——仙女座星系的十分之一。这意味着它们近到足以让我们对麦哲伦云中的个别恒星进行详细研究，但也远到可以把两云中任何一个的全部恒星的距离看成大致相等。这使得麦哲伦云成了测定宇宙距离尺度的关键性中间基石。

麦哲伦云很容易在南半球天空中用肉眼看见，它的名称源于葡萄牙探险家费迪南·麦哲伦（Ferdinand Magellan，约1480－1521），他是最早（1519年）记述了这两个云的欧洲人。大麦哲伦云（LMC）的直径约10,000秒差距，离我们约50,000秒差距；小麦哲伦云（SMC）的直径约6,000秒差距，离我们约60,000秒差距，但似乎沿视线延伸很广。两个云都含有大量星族I的恒星，它们的气体按比例多于我们的银河系。LMC似乎含有我们银河系中未见到过的年轻蓝色球状星团。大小麦哲伦云包裹在一个叫做麦哲伦流的冷氢气体云中，后者是大约2亿年前当麦哲伦云通过我们银河系近旁时，被潮汐力从它们中的一个或（可能）两者拉出来的。麦哲伦流含有的质量大约是太阳的10亿倍（见260页的图）。

由于麦哲伦云给天文学家提供了距离大致相同的恒星样本，所以它们对恒星演化的研究特别有用。比方说，LMC中的一颗恒星的亮度是LMC中另一颗恒星的两倍，那么我们可以确信它真的是两倍那么亮，而不是因为它距离近些因而看起来亮些。正是由于这一原因，研究麦哲伦云中的造父变星提供了发现造父变星周光关系的关键线索，而周光关系也成了给宇宙距离定标的无比重要的手段。

magnetic field **磁场**，磁体或电流周围对磁体产生作用力（见场论）的区域。磁场是四种基本力之一——电磁力的一种表现。和引力一样，因为磁力有长程作用，与行星、恒星、星系和类星体等等天体相联系的磁场，在很多天体物理过程中扮演着重要角色。

magnitude scale **星等标（又称波格森标度）**，天文学家用来量度天体亮度的标度。最初的星等标是以人眼看起来有多亮为依据的；希腊天文学家伊巴谷把恒星排列成从已知最亮恒星的‘一等’到肉眼刚刚可见的最暗恒星的‘六等’。但到19世

纪中叶已经意识到，人眼的感光不是线性的，而是遵守对数规则。所以一等星的亮度远远不止六等星的六倍。

为了建立一个与基于人眼视觉的传统标度相匹配的精密标度，1856年英国天文学家诺曼·波格森（Norman Pogson，1829－91）认为应该硬性规定5个星等的差异相当于100倍的亮度比。换言之，1星等的差异对应亮度之比为2.512（因为$2.512^5=100$）。因此，一颗星比另一颗星亮2星等，相当于亮2.512^2倍，依此类推。

这就是天文学家今天使用的标度，而亮度的测量已经不用人眼，而是用各种测光仪器。由于因袭了伊巴谷定义的原始星等标，所以恒星越黯淡，其波格森标度的星等值越大。又由于要包括比伊巴谷考虑过的更亮的星，所以还必须使用负数。星等可以在不同波长范围（不同颜色）或对整个电磁波谱（热星等）进行测量。另见视星等、绝对星等、光度。

main sequence　主序，和太阳一样通过内部将氢转变为氦的核聚变过程而发光的恒星在赫－罗图中占据的带形区域。全部明亮恒星的大约90%位于主序，恒星在主序上的寿命L（以年为单位）近似等于其质量M（以太阳质量为单位，故太阳质量为1）的立方[①]除100亿，也就是$L=10^{10}/M^3$。例如，8的立方是512，所以拥有8倍太阳质量的恒星在主序上能生存2千万年左右，这大约等于太阳主序寿命的千分之二。

Maksutov, Dmitri Dmitrievich　马克苏托夫，德米特里·德米特里耶维奇（1896－1964），前苏联天文光学专家，设计并制造了好几台大反射望远镜，发明了马克苏托夫望远镜。1920年代工作于敖德萨，然后在莫斯科国家光学研究所，1952年后在列宁格勒附近的普尔科沃天文台。

Maksutov telescope　马克苏托夫望远镜，德米特里·马克苏托夫1940年代提出的施密特照相机的改进型。其光学系统在大视场内具有极优良的像质，是天文照相的理想仪器。虽然这种望远镜坚固而紧凑，特别适合业余天文爱好者，但它的改正透镜很难磨制成大孔径仪器，因而限制了在专业天文研究中的应用。

Malmquist effect　马姆奎斯特效应，以瑞典天文学家龚纳尔·马姆奎斯特（*Gunnar Malmquist*，1893－1982）

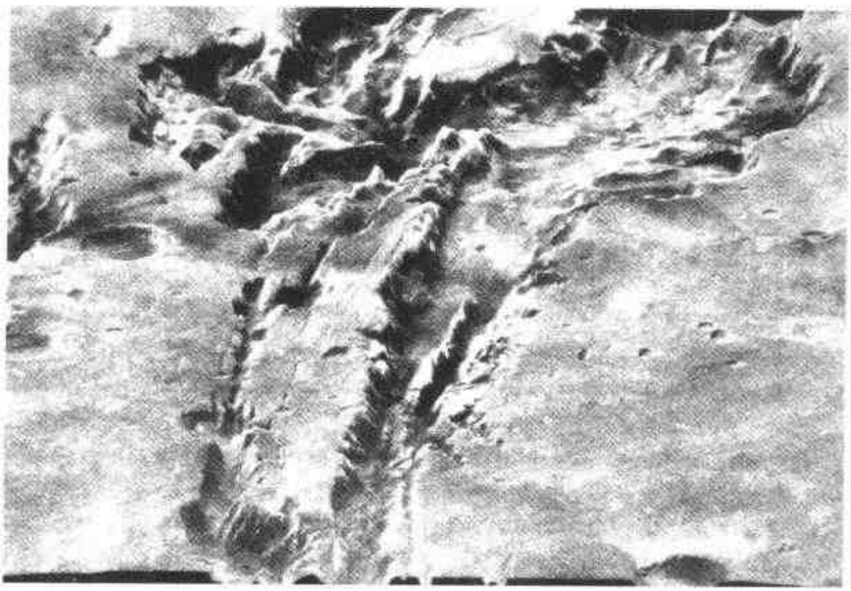
① 原文误为'立方根'，从而得出8倍太阳质量恒星在主序上能生存50亿年的错误结论。不过这样计算的主序寿命是很粗略的。——译注

姓氏命名的一种错觉，表现为一群遥远天体（恒星或星系）中较暗成员因暗到看不见而在计算中未加考虑，致使天体群越远，似乎其平均亮度越高。见哈勃常数。

Mariner probes　水手探测器，美国宇航局发射的用于研究太阳系内行星的太空探测器系列。其中最精彩的成果是 1962 年水手 2 号抵达金星，1967 年水手 4 号发回火星照片，1971 年水手 9 号首次进入绕火星的轨道，1974 年水手 10 号发回水星照片。两个旅行者空间探测器最初的命名是水手 11 号和水手 12 号。

Mars　火星，从太阳往外第四颗行星，每 686.98 天沿轨道运行一周，与太阳的距离为 1.38～1.67 天文单位。火星自转一次历时 24 小时 37 分 23 秒，它的直径为 6,795 公里（大约是地球直径的一半），质量稍大于地球的十分之一。火星是一颗荒凉的行星，有很稀薄的大气（主要成分是二氧化碳），气温 －111～26℃。

maser　脉泽，微波激射的英文（Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation）首字母缩略语的音译。后来用‘光（light）’代



火星。火星上巨大的瓦列斯·马林内里斯峡谷，是用海盗号太空飞船数据经计算机处理而成的图像。

替‘微波（microwave）’而得出的‘莱塞（laser）’就是激光。在天体系统中已经发现了好些天然的脉泽。

脉泽和激光都产生于电磁辐射和原子的相互作用，它们的差别在于辐射的波长，微波的波长比光长得多。在激光和脉泽两种情况下，如果一个原子或分子处于合适的能态（激发态），则给定波长的电磁波通过它时，就能触发它放出更多的波长完全相同的电磁辐射。这样就增强了通过它的波，后者又能与更多激发态原子相互作用，于是产生一个具有极其一致的单一频率的强大辐射脉冲。这种受激发射效应是阿尔伯特·爱因斯坦在1920年代根据量子理论预言的。

在一些太空云中，分子被附近恒星的辐射提升到激发态。如果这些分子的一部分自发地将它们的能量以微波形式发射出去，这些微波就能引起其他同一种激发态分子通过级联跃迁发射它们的能量，结果产生波长极其单一的强大辐射束。与水（H_2O）、羟基（OH）、一氧化硅（SiO）和甲醇（CH_3OH）等有关的脉泽活动，已经在分子云和年老恒星大气中发现。含羟基脉泽的分子云现在已知有几百个，第一个OH脉泽是1965年在猎户座星云证认的。

Maskelyne, Nevil 马斯基林，内维尔（1732－1811），1765年接替纳撒尼尔·布里斯（Nathanial Bliss）的第五任皇家天文官，担任此职直到离世。马斯基林1732年10月6日出生在伦敦，求学于剑桥大学三一学院，1754年成为神学学士。尽管一年后被任命为牧师，他却到格林尼治皇家天文台当上了詹姆斯·布拉德雷的助手。不过，即使被聘为皇家天文官后，他仍继续在很多教区履行牧师职责。他的主要兴趣之一是海上测定经度的方法，并于1767年创办了《航海历》。他在1811年2月9日逝世于格林尼治。

mass 质量，物体所含物质数量的量度，质量可用两种方法测量——根据物体对力的加速作用的抵抗程度（即物体的惯性；另见牛顿运动定律），或根据物体的引力场的强度。奇妙的是，同一个物体的这两种质量（惯性质量和引力质量）总是完全相等，这个现象至今没有得到完满的解释（见马赫原理）。

只要是在同一个引力场中，相等的质量感受到相等的引力，这个力叫做重量。所以，一个物体的质量可以用它在地球表面上有多重来规定——标准单位是1千克（kg）。但是，一个质量1千克的物体如果移到，比方说，月球上，它就不是1千克重了，因为月球上的引力比较弱，1千克质量只有160克重。你的重量依赖于你在宇宙的什么地

方，但你的质量（严格说是你的静止质量；见狭义相对论）不管你身在何处总是一样的。

天文学家通常用太阳的质量——2×10^{30}千克——作为质量量度单位。

mass-luminosity relation　质光关系，对赫-罗图中主序上的恒星成立的质量和光度之间的近似关系。粗略地说，恒星的质量越大，它的内部必定越热，才能产生足够的内部压力来支持自身抗衡引力坍缩。这是亚瑟·爱丁顿1924年讨论这一问题时最先正确认识到的。

质光关系只是一个近似关系，因为还有其他因素，如化学组成，也影响恒星的亮度。已经找到三个稍稍不同的质光关系，可分别应用于主序不同部位的恒星。对于太阳这样的恒星（质量大约是太阳的0.3~7倍），光度正比于质量的4次方（M^4）；对于亮度更高、质量更大的恒星，光度正比于质量的立方（M^3）；而对于黯淡的红矮星，光度正比于质量的2.5次方（$M^{2.5}$）。白矮星和红巨星不遵守这些简单规则。

mass number　质量数，某元素（如氦）的某特定同位素的一个原子的核所含质子加中子的总数。根据质量数可以辨别所指的究竟是哪个同位素——例如氦-3或氦-4。

Mauna Kea Observatory　莫纳克亚天文台，夏威夷莫纳克亚山顶附近一群望远镜所在地。这些望远镜分属好几个国家，包括美国、英国、法国和加拿大，共享一个海拔4,200米的台址，既有传统的光学望远镜，也有对红外辐射敏感的望远镜，其中之一的凯克望远镜是世界最大的光学望远镜。

Maunder, Edward Walter　蒙德，爱德华·瓦尔特（1851－1928），格林尼治皇家天文台的英国天文学家（起初是助手），对太阳黑子进行过详细研究。他从历史记录发现1645~1715年期间几乎没有任何黑子活动（现在称之为蒙德极小期），但这一发现终其一生也未曾引起天文学家的注意。

Maunder minimum　蒙德极小期，从1645年开始的几乎没有观测到太阳黑子的70年，是以根据太阳活动历史记录于1890年发现这一极小期的格林尼治皇家天文台的E.W.蒙德的姓氏命名的。虽然在长达几十年的期间内一些天文学家对蒙德极小期的真实性持怀疑态度，认为那可能反映了观测的缺乏而不是1645~1715年间缺少太阳黑子，但1970年代对历史资料的新研究和树木年轮中放射性碳（碳-14）数量的分析则完全消除了这些怀疑。碳-14是地球大气中与太阳宇宙线的参与有关的相互作用中产生的（它包含在植物进行光合

作用时摄人的二氧化碳之中)，研究表明17世纪后半叶太阳确实是平静的。

蒙德极小期和法国'太阳王'路易十四的统治时期几乎完全一致，也和地球上极其寒冷的一次小冰期相合。太阳黑子的缺少与地球上的寒冷之间有某种关联的结论是难以否认的，但至今尚未找到这种关联的完全令人满意的解释。

Max-Planck Institute for Astronomy **马克斯-普朗克天文研究所**，总部设在海德堡、在西班牙的卡拉奥托建有一座天文台的德国研究所。

Max-Planck Institute for Radio Astronomy **马克斯-普朗克射电天文研究所**，总部设在波恩、在波恩附近的埃费斯伯格建有一座天文台的德国研究所，其主要设备是一台100米可动抛物面射电望远镜，称为埃费斯伯格望远镜。

Maxwell, James Clerk **麦克斯韦，詹姆斯·克拉克**（1831－79），苏格兰物理学家，成就极丰，包括提出色觉的三原色理论和建立描述电磁辐射性质的方程式。

麦克斯韦1831年6月13日生于爱丁堡的一个富裕家庭（父亲是律师），1847到1850年就读爱丁堡大学。后赴剑桥大学，1854年毕业。他曾在阿伯丁和伦敦的国王学院执教，但他在父亲1865年死后即回苏格兰家乡继承产业，并从事个体研究。1871年他被说服重新开始他的主流科研生涯，被聘为剑桥大学的实验物理学教授。他在那里主持建立了1874年投入运营的卡文迪什实验室。1879年11月5日，麦克斯韦在剑桥死于癌症，终年仅48岁。

在1859年发表的早期论文的一篇中，麦克斯韦证明，土星的光环应该是由分别沿各自的轨道围绕该行星运动的大量小颗粒所组成，而不可能是连续无间的天体。后来他又解释（并演示）了人眼看见的所有颜色怎样用红、绿、蓝三种颜色的不同组合来实现——这个方法在1980年代曾被空间科学家大量应用，其中包括根据旅行者空间探测器发回地球的数据创造土星光环的全彩色图像。

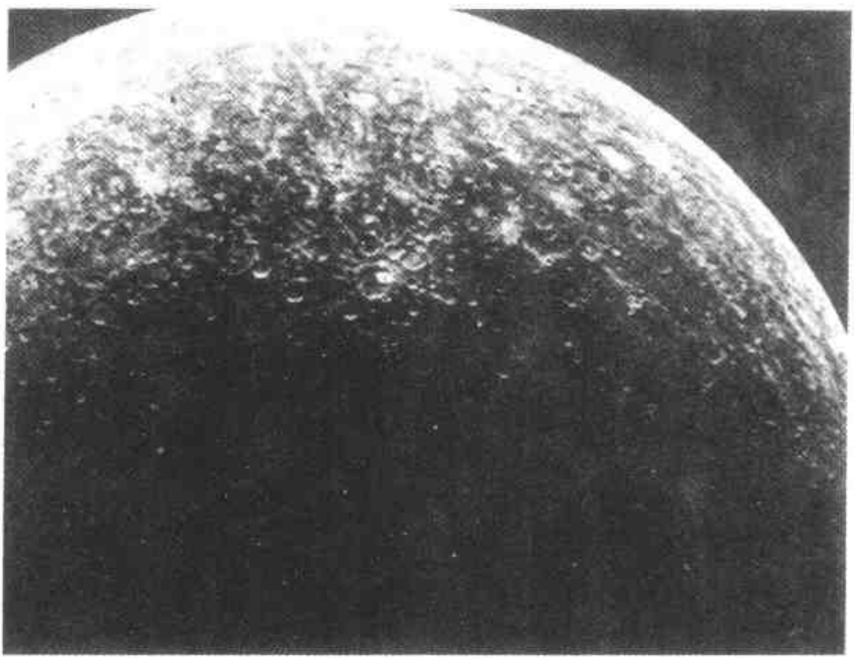
但麦克斯韦最伟大的成就是推导了描述电磁辐射行为的方程式。在这些方程式中，有一个代表电磁波速度的常数 c，后来发现这个常数准确等于光速，于是麦克斯韦意识到他已经证明光是电磁波的一种形式。他也根据计算预言存在以同一速率 c 传播的现在所称的无线电波。

奇怪的是，麦克斯韦方程式没有规定测量 c 的参考系。虽然麦克斯韦及其同时代人认为电磁波必须通过以太运动并参照以太来测量光速，阿尔伯特·爱因斯坦却领悟到

c 是一个绝对常数，光速在一切惯性系中都是相等的。这是引导爱因斯坦走向狭义相对论的关键洞察之一。

mean density of matter　平均物质密度，整个宇宙范围内物质的平均密度。尽管很多理论家主张宇宙所含物质的引力正好足以使时空平坦（见宇宙模型、密度参数），但真正的密度知道得并不确切。

如果宇宙确实正好含有这一临界密度要求的物质，那么，采用55公里每秒每百万秒差距的哈勃常数值，宇宙的平均物质密度就将是 5×10^{-27} 克每立方米。宇宙中可见的明亮物质只相当这一临界密度的百分之几，但星系团成员的运动特性和个别星系的自转方式均表明存在大量暗物质，足以将平均物质密度提高到临界值的三分之一左右。这种暗物质肯定存在，而且很可能全部是重子形态。时空平坦所需的其余物质（如果存在）应该是非重子的。



水星。布满环形山的水星表面，水手10号空间探测器于1974年3月29日从400,000公里外拍摄。

如果宇宙中的所有已知物质都是氢的原子，如果这些氢原子均匀扩散到了全部空间，那么宇宙的每一立方米将正好含有一个氢原子。为使时空平坦，要求每立方米空间所含的物质相当于三个多氢原子。

Megaparsec（Mpc）　百万秒差距（Mpc），距离的单位，等于秒差距的1百万倍。

Mercury　水星，离太阳最近的行星，在0.39天文单位的平均距离上每87.97天绕太阳公转一周。水星自转一周需时58.64天，所以水星上的三‘天’和两个水星‘年’一样长。水星表面到处是环形山，基本上没有大气；温度范围－180℃～430℃①。水星的直径为4,880公里(大小介于月球和火星之间)，质量约地球的5%。(见267页的图。)

MERLIN　梅尔林干涉网，多元无线相联干涉仪网的英文（Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network）首字母缩略语的音译。这是英国境内用微波通讯连接到焦德雷班克的射电望远镜系统，用来进行干涉测量和综合孔径工作，以获取堪与照片媲美的射电源详图。

meson　介子，见基本粒子。

Messier, Charles　梅西叶，夏尔(1730－1817)，主要研究彗星的法国天文学家。为了不致将天空中其他模糊光斑误认为彗星而浪费时间，他编了一份很重要的暗天体表，其中很多现在已知是星系。

Messier Catalogue　梅西叶星云星团表，夏尔·梅西叶在18世纪后半叶编制的暗天体表，是他研究彗星的副产品，现在认为梅西叶星云星团表是他的主要科学遗产。该表的最后版本列出110个天体，现在已知其中很多是星系（如仙女座星系M31)，但表中有五处错误（编号M40、M47、M48、M91和M102)，所以实际的天体数是105。（见269页的图。)

metallicity　金属性，见重元素。

metals　金属，天文学家有点毫不在乎地把氢和氦以外的每一种元素都定义为‘金属’，所以，天文学家心目中最普通的‘金属’碳、氧和氮，在化学家看来都不是金属。见重元素。

meteor　流星，来自太空的物质碎片在地球大气中燃烧干净并产生划破长空的光迹，有时也把它称为射星。由于尘埃颗粒和岩质碎片成群结队（可能是彗星分裂而成）沿着绕太阳的轨道运动，所以在一年的某些特定时刻当地球通过这些群体

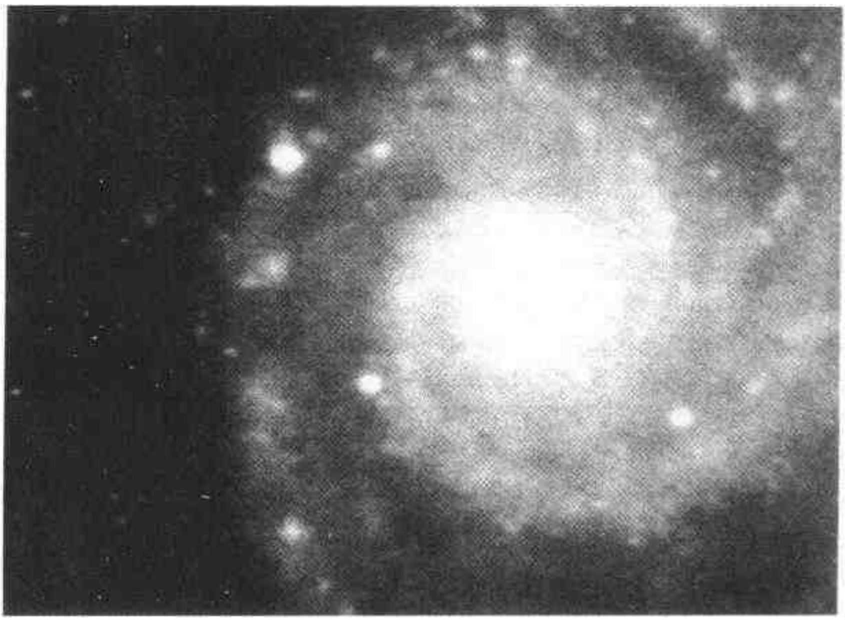
① 原文的190℃乃平均温度，今据《剑桥行星手册》的最新数据改为最高温度。——译注

时，大批流星集中出现而形成流星雨。

meteorite **陨星**，来自太空、通过地球大气时未能像流星那样燃烧干净而幸存下来落至地面的岩石或金属块。陨星可能是彗星或小行星的碎片，偶尔出现的大陨星的巨大撞击可造成大环形山，其中最大的曾经引起生态灾难，导致地球生物的大规模灭绝，例如恐龙的消失。

meteoroid **流星体**，一旦遇上地球便可能成为流星或陨星的一类天体的通称。所以，比如落到火星上的一块岩石是流星体而不是陨星。当石块飘浮在太空中时，可以称它们为流星体或小行星

metre **米**，长度的标准单位，最初（由法国革命时期的国民议会在1790年代）定义为地球北极到赤道的距离的一千万分之一。1983年以来，米的定义已经改成了光在1/299,792,458秒钟内通过的距离。有些人建议重新规定米的长度，以使光速正好等于300,000,000米每秒，可惜这些建议看来未能得到对此类事物有决定权的人士的重视。



梅西叶星云星团表。梅西叶星云星团表中的一个‘星云’M74（也叫做NGC 628），这幅用现代电荷耦合器件得到的图象表明它是一个旋涡星系。

metric 度规，估量空间或时空中两个事件之间关系的方法。英文的'度规'与'几何学'源于同一词根；度规测量的关键在于，选择合适的度规能给出与测量所依据的参考系无关的距离量度。

这可借助著名的关于直角三角形三边长度的毕达哥拉斯定理来理解。如果三角形斜边长度是 s，其他两边长度是 x 和 y，则据毕达哥拉斯定理有 $s^2 = x^2 + y^2$。这决定了斜边两个端点之间的最短距离。在三维情况下，如果沿三个相互成直角的方向测量两点之间的距离，那么两点间的最短距离由公式 $s^2 = x^2 + y^2 + z^2$ 决定。至于从何处开始测量（即测量系统的原点在何处）x、y 和 z，则是无关紧要的，s 的数值永远相同（对同样两个点而言）。

赫尔曼·闵可夫斯基意识到，利用阿尔伯特·爱因斯坦的狭义相对论和洛伦兹变换公式，可以同样处理四维情形（三维空间加一维时间）。这时将有 $s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$。

因子 c 是光速，它的出现使公式的时间部分具有与其余部分相同的长度单位，而爱因斯坦理论告诉我们，时间在某种意义上表现为'负距离'，这就是减号的来由。因为 c 等于 300 亿厘米每秒，这在某种意义上表示 1 秒钟等价于 -300 亿厘米；由于 c^2t^2 项的前面有减号，所以时间与负数的平方根（叫做复数）有关，这使得时空有点不太好理解，但不会给计算带来任何麻烦。尽管有这些复杂性，度规的很重要性质是，不论你从何处开始测量 x、y 和 z，也不管你以何种方式运动，只要你是在一个惯性系中，四维时空中两点间的距离 s 永远是相同的。

这个四维距离叫做两个事件之间的间隔，它对一切惯性系中的观测者都是相同的。不同观测者可以用不同方式分别测量 x、y、z 和 t 等参数中的每一个，但四个参数的联合度规总给出相同的间隔 s。

这个特定的度规（闵可夫斯基度规）所描述的是发生在平坦时空中的事件之间的关系，是整体宇宙中事物相互关系的很好近似。但在处理只有广义相对论才能对其中事件性质给出合适描述的弯曲时空——例如黑洞附近——时，则必须用更复杂的度规。

Meudon Observatory 默冬天文台，巴黎天文台的天体物理学分部，1876 年创建时为独立天文台，1926 年与巴黎天文台合并。

Michell, John 米切尔，约翰（1724－93），英国地质学家、天文学家和牧师，他是提出黑洞概念的第一人。

有些书把约翰·米切尔法师说

成是对科学有点儿业余爱好的乡下佬，提出黑洞概念纯属偶然。这与事实相去甚远。米切尔成为乡村教区牧师之前是一位严肃的科学家，早在入教会前的1760年就被选为皇家学会的特别会员。他的声誉来自他对1755年袭击里斯本的灾难性地震的研究。米切尔认定那场灾难是中心在大西洋底的地壳局部运动所造成，他今天已被尊称为地震科学之父。

米切尔诞生的准确日期和地点已不可考，但他来自诺丁汉郡，可能是1724年在那里出生。他1752年毕业于剑桥大学，成为女王学院特别研究生，并于1762年被聘为伍德沃德地质学教授。那时，大学教师（基督教会出身的）取得牧师职位是很正常的，并不一定到教会工作；但在1764年，即成为神学学士一年后，米切尔离开剑桥大学，担任了约克郡桑希尔教区的牧师。

这并未中止他继续从事他所钟爱的科学活动，而且威廉·赫歇尔曾是他家的常客。1767年，米切尔发表一篇论文指出，我们在天空上看到的双星如果仅仅是杂乱散布的恒星的偶然并列，那它们的数量就太多了，因而有些双星必定是互相有物理联系。他也是实际估计恒星距离的第一人。他根据织女星的视亮度计算出它大约比太阳远460,000倍，这个数值等于现代公认的织女星距离的25%左右。

米切尔（离开剑桥大学之前）还对磁性做过重要研究，在桑希尔期间发明了叫做扭秤的仪器，可用来测量很小的力的准确强度。他打算用这种扭秤测量一个大质量作用在一根灵巧细棒上的引力大小，但还没有来得及实行就去世了。完成这项实验的是他的学识渊博的朋友、科学成果卓著的亨利·卡文迪什（Henry Cavendish，1731－1810），他的结果发表在1798年。建于1871年的剑桥大学卡文迪什实验室就是以亨利·卡文迪什的名字命名的。

但是，米切尔最具先见之明的工作今天似乎已经完全被遗忘了。他称之为‘黑星’的东西是1783年卡文迪什用米切尔的名义在一篇向皇家学会宣读的论文中首次披露的。这篇文章通过判断引力对恒星表面发射的光的影响，讨论了计算恒星性质的各种方法，涉及恒星的距离、大小和质量，其详细程度令人难忘。全部内容的基础是艾萨克·牛顿关于光由细小粒子（有时叫做微粒）构成的思想，以及引力‘对光粒子和其他所有我们熟悉的物体的吸引方式是相同的’假设。

米切尔领悟到，如果一颗恒星足够大，那么我们今天所称的恒星表面的逃逸速度就将超过光速。他

在那篇长久被人遗忘、而今天十分著名的文章中提出了许多详细论据，其中作为结果的一条指出：

> 如果自然界确实存在密度不小于太阳密度、直径为太阳直径500倍的天体，那么，由于它们的光不能抵达我们这里……我们将不能通过视觉获得它们的信息；然而，如果碰巧有发光天体绕着它们公转，我们仍可能有相当把握根据这些公转物体的运动推断中心天体的存在，因为这可能提供有关公转天体某些用任何其他假说无法解释的表观不规则性的线索。

一个直径比太阳大500倍的球大致和太阳系一样大，所以米切尔设想的这种黑星和今天认为位于类星体中心的那种黑洞十分相似。他那根据伴星所受引力作用到双星中寻找黑洞的思想，与1972年，即米切尔的论文向皇家学会宣读189年后发现银河系第一个黑洞——天鹅座X-1的情形极为吻合。

1793年4月9日，米切尔在桑希尔去世。

Michelson, Albert Abraham 迈克耳孙，阿尔伯特·亚伯拉罕（1852－1931），德国出生的美国物理学家，他多次测定光速，同爱德华·莫雷（Edward Morley）共同进行的著名实验未能找到光在其中传播的'以太'存在的任何证据。见狭义相对论。

Michelson-Morley experiment 迈克耳孙－莫雷实验，1880年代完成的一项实验，起初由阿尔伯特·迈克耳孙、后来与爱德华·莫雷合作进行，目的是通过测量地球运动方向和与它垂直的方向上光速的差别，来探察地球通过以太的运动。此后，其他实验家也多次进行过类似实验，它们全都得到同样的结果——光速的一切测量都未能发现可归因于地球运动的效应。这些实验证明，以太不存在，测量的光速与测量仪器的运动方式无关。

迈克耳孙－莫雷实验常常被看成爱因斯坦发展狭义相对论的推动力，因为狭义相对论认为，光速 c 是一个绝对常数，任何惯性系中的一切观察者测得的光速数值，不管观察者如何在空间运动，也不管光源以何种速率在空间运动，都是相同的。但爱因斯坦在回答喜欢追根问底的人时总是说，1905年他提出狭义相对论时对迈克耳孙－莫雷实验毫不知情，当时他的研究动力部分来自詹姆斯·克拉克·麦克斯韦描述电磁波传播的方程式；那些方程式中的光速就是一个绝对常数。

micrometeorite 微陨星，小到不能像流星那样在地球大气中烧尽，而是轻柔飘落地面的行星际尘埃微粒（单个重量不到百万分之一克）。微

陨星'雨'每年给地球增添大约4,000吨物质。

microwave background radiation **微波背景辐射**，见背景辐射。

microwaves **微波**，波长范围1～30厘米的射电波。微波一词有时也包括波谱的远红外区和微波区起点之间的毫米波（波长1毫米～1厘米）。射电天文学利用微波最著名的是研究背景辐射，但也用来研究星际分子。地球上，微波用于雷达和电信，也用作微波炉烹调食物的热源。如此看来，宇宙算得上是一个工作温度为－270.3℃的微波炉。

Milankovitch, Milutin **米兰科维奇，米留廷**（1879－1958），南斯拉夫气候学家，他提出了地球冰期循环是地球轨道变化改变了季节之间的热平衡而引起的理论。

Milankovitch theory（**Milankovitch model**） **米兰科维奇理论**（**米兰科维奇模型**），用地球空间取向和绕太阳轨道形状两者的变化来解释地球近代冰期循环的一种理论。

地球绕太阳运动时，以数万年计的各种周期像陀螺一样摆动（运动），加之轨道本身的形状从接近正圆形改变成椭率稍大的椭圆形，然后再变回来。这些变化合在一起，可以改变季节之间的热平衡。虽然太阳每年射到地球上的总热量不变（假设太阳的热量输出不变），但夏季和冬季之间的差异有时很大，有时却较小。这些影响综合起来，使地球上的气候变化出现长约26,000年、40,000年和90,000～100,000年的韵律。

虽然米留廷·米兰科维奇不是研究气候变化和天文韵律之间联系的第一人，但他进行了广泛而精细的计算，较为令人信服地确立了这种联系。以后，利用深海地壳资料对过去气候的研究，以及电子计算机的更精确计算，都支持了这种联系。从全球地理来看，现在似乎可以认为，冰期才是我们这颗行星的'本来'状态，只有当天文韵律循环给夏季的北半球注入强大热能，融化北极区周围大陆的冰雪，它才能脱离这种冰冻状态而进入一个间冰期（如同今天存在的条件）。

简言之，用天文韵律解释的近代（过去几百万年）气候变化图景是，一次大约90,000年的冰期之后是10,000～15,000年的间冰期，然后是另一次冰期，等等。我们现在生活在大约15,000年前开始的间冰期行将结束之时。

补充读物：玛丽和约翰·格里宾著《生而为人》[42]；约翰·因布里和凯瑟琳·帕尔默·因布里著《冰期》[43]。

Milky Way **天河**，横跨天空并标志出我们银河系平面的恒星带。英文'Milky Way'也指银河系。

millimetre astronomy **毫米波天文**

[学]，利用波长 1 ~ 10 毫米的电磁辐射研究宇宙的学科。它是射电天文学的一个分支，对星际分子的频谱学研究特别重要。

millisecond pulsars　毫秒脉冲星，辐射射电波脉冲的极快速自转的中子星。和'正常'脉冲星不同的是，毫秒脉冲星被认为是比较年老的恒星，它们通过对双星系统中伴星物质或（也许可能）星际物质的吸积而加快了自转。真正每秒钟自转 1,000 次的脉冲星并没有发现，但对这些实测周期为几毫秒的天体来说，'毫秒脉冲星'是一个略带夸张的合理名称。

第一颗已知的毫秒脉冲星 PSR 1937 + 211 是 1982 年普林斯顿大学的天文学家用阿雷西博射电望远镜证认出来的。它至今仍是已知自转最快的，其周期为 1.56 毫秒，相当于每秒钟自转 642 次——这可是一个质量大致和太阳相同、直径仅仅几公里的天体！第二个发现的毫秒脉冲星 PSR 1953 + 29 的周期为 6.1 毫秒，它是双星系统的成员，每 120 天绕一颗看不见的伴星运行一周。

虽然这些发现曾经令人惊奇，但射电天文学家不久就在球状星团中找到很多毫秒脉冲星，其中半数以上在双星系统中。单是杜鹃座 47 这一个星团就有 11 颗毫秒脉冲星，它们的周期全都短于 6 毫秒，而球状星团中的已知毫秒脉冲星总数超过了 30。到 1994 年年中，在银河平面附近发现了大致同样数量的毫秒脉冲星。看来，所有这些天体起初都是在双星系统中，我们今天看到的孤独的毫秒脉冲星已经失去了它们的伴侣，原因既可能是与其他恒星紧密接近（这在球状星团内部的拥挤情况下并不罕见），也可能是脉冲星的辐射消灭了它们的伴侣（见黑寡妇脉冲星）。

由于产生普通脉冲星的那类超新星爆发能使双星系统瓦解，至少有些毫秒脉冲星极有可能开始时是双星系统中的白矮星（可能经历一些规模较小的新星爆发），它们吸积足够多物质而超过了昌德拉塞卡极限，于是坍缩成中子星，并在坍缩过程中自转加快，磁场增强。

Mills cross　米尔斯十字，射电望远镜的一种，它采用干涉测量原理，由两列沿彼此垂直的直线排列的天线组成。1950 年代在澳大利亚首次研制成功，并以天文学家米尔斯（B.Y.Mills）的姓氏命名。

Milne, Edward Arthur　米尔恩，爱德华·亚瑟（1896 – 1950），英国天体物理学家和宇宙学家。1896 年 2 月 14 日生于赫尔市，曾就读于剑桥大学三一学院，但因参与火器发射特性等军事研究而一度中断学业。1919 年毕业，1920 ~ 1925 年在剑桥大学工作，1925 ~ 1928 年任曼彻斯

特大学数学教授，1928年起一直担任（再次因军事工作一度中断）牛津大学劳斯·鲍尔数学教授（此职务目前属罗杰·彭洛斯）。1950年9月21日，米尔恩在都柏林参加一次学术会议时去世。

1920年代，米尔恩在剑桥大学工作之初与拉尔夫·福勒（1889－1944）合作，进行了恒星结构方面的开创性研究。后来他对宇宙学产生了兴趣，提出宇宙从其内部任何地方来看应该一样的宇宙学原理概念。1930年代初期，米尔恩和威廉·麦克雷共同证明，广义相对论方程式预言的膨胀宇宙，实际上可用经典力学和艾萨克·牛顿的引力理论给予完美的说明。他也拥护物理学'常数'（如引力常数G）确实随着宇宙年龄增加而变化的观点。这种观点现在基本上无人相信，但当时却激起了广泛的兴趣。

Mimas 土卫一，土星的一颗卫星，1789年被威廉·赫歇尔发现。它的直径只有390公里，却带着一个广达130公里的环形山。土卫一主要由冰组成，其轨道离土星185,500公里。

mini black holes 微黑洞，可能是大爆炸遗留下来的细小黑洞（比一个原子小得多）。这种小黑洞不可能在今天产生，但原则上任何数量的物质，不管多么少，只要压缩到足够小的体积内，都将变成黑洞。极早期宇宙中的密度涨落甚至可能在大爆炸核合成阶段之前就已经创造了微黑洞。这是很有魅力的想法，原因有好几个，其中之一就是这样的黑洞不是由重子构成，因而可能提供许多理论家盼望其存在以使时空平坦的非重子暗物质（见宇宙模型）。

微黑洞概念在1970年代初由斯蒂芬·霍金加以推广，他证明这样的物体必然蒸发，并最终将通过霍金辐射形式发射能量而爆炸。黑洞越小，爆炸发生得越早。大爆炸创造的单个质量约10^{13}克的微黑洞（1千万吨质量压缩在和一个质子差不多的体积内）应该在大爆炸之后大约150亿年的今天爆炸。

可惜，观测到的天空γ射线背景极其微弱，似乎表明当前发生爆炸的这种微黑洞十分稀少，而过去已经爆炸的比这更轻的微黑洞看来也同样稀少。

大多数理论家怀疑微黑洞的存在。也许太空中的γ射线爆发源就是微黑洞，但它们数量太少，不足以使时空平坦。

Minkowski, Hermann 闵可夫斯基，赫尔曼（1864－1909），德国数学家，阿尔伯特·爱因斯坦的老师。他提出了作为物理学相互作用舞台的四维时空概念。他是观测天文学家鲁道夫·闵可夫斯基（Rudolph Minkowski, 1895－1976）的叔叔，

鲁道夫曾于1956年参与证认第一个已知河外射电源天鹅座X-1。

赫尔曼·闵可夫斯基1864年6月22日生于立陶宛（当时由俄国统治）的亚力克索塔斯。1872年他的家庭迁往当时德国境内的康尼斯堡（即今俄罗斯飞地加里宁格勒），所以他就读康尼斯堡大学，1885年获博士学位，并在波恩大学执教。1894年回康尼斯堡大学任数学副教授。仅仅两年后，他前往苏黎世联邦技术大学，于1896~1902年任数学教授，在那里他成了爱因斯坦的老师。年轻的爱因斯坦尽管聪慧，但没有给他的老师们留下好印象，因为他漫不经心地对待正规课程。正是闵可夫斯基把爱因斯坦形容为'对数学从不关心'的一条'懒狗'。

1902年，闵可夫斯基被聘为格廷根大学的数学教授，并在那里度过余生。他主要从事纯数学研究，包括数论和几何学。正是通过他对三维以上数学和几何学的更抽象内容的理解，1908年他在科隆的一次演说中提出了四维时空概念。在那篇演说中，他的开场白为洞察狭义相对论意义的革命性新见解的形成布置了场地，而这一新见解不久就提供了发展广义相对论的线索：

> 我想展现在你们面前的关于空间和时间的看法是从实验物理学土壤中萌芽的，而这就是它们力量之所在。它们是彻底的。从今以后，单独的空间和单独的时间都注定如同阴影般消失，只有它们两者的某种联合能维持一种独立的实在。

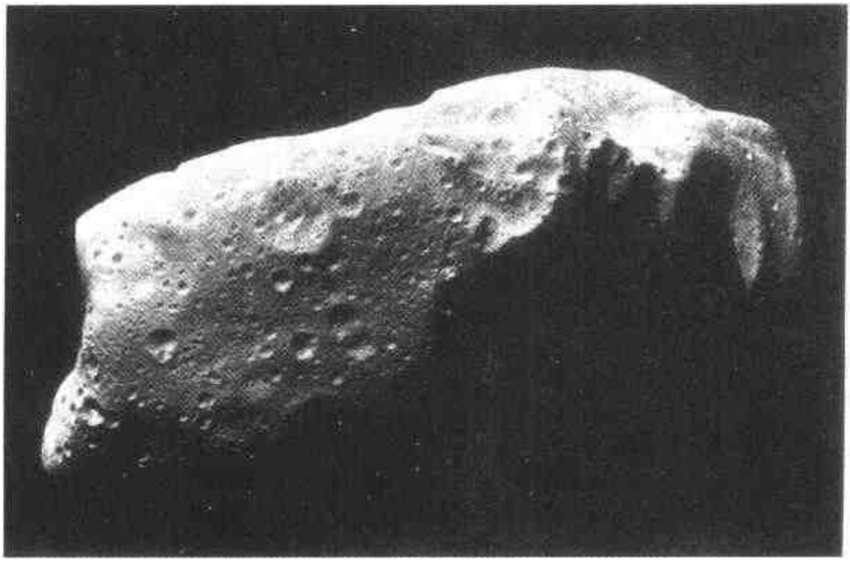
这项研究成果在1909年1月14日闵可夫斯基因阑尾炎并发症逝世后同年发表。

Minkowski diagram　闵可夫斯基图，见光锥。

minor planets　小行星，比主要行星小得多的岩质天体。大多数小行星在火星和木星轨道之间绕太阳运动。这个小行星带和太阳的距离为1.7~4.0天文单位，其中天体的公转周期为3~6年。曾经一度认为小行星带是一颗行星破裂后的碎片，但现在看来，小行星更可能是形成了行星的那类太空碎石，所以小行星带是演化失败的行星，而不是炸碎的行星。

小行星带的物质很可能最初形成了几个天体，每一个的大小与火星相仿，它们互相碰撞而碎裂；如果是这样，则小行星带原始物质的大多数已经丢失，因为今天全部小行星加在一起的总质量只及月球质量的15%左右。有趣的是，小行星带的主体到太阳的距离正好符合波得定则。

有些小行星（约占5%）有着十分不同的轨道，其中部分椭圆轨



小行星。伽利略空间探测器在定于1995年12月与木星交会的航行途中拍摄的小行星艾达（243号）。1993年8月28日这枚空间探测器在离艾达仅2,000公里处掠过。

道深入到了比地球更靠近太阳的地方。这些小行星绕太阳运动时将穿过地球轨道。过去已经发生过此类小行星与地球相撞的事件（这有助于解释小行星带的物质'丢失'到那里去了），将来还可能再发生（见世界末日小行星）。

估计超过10万颗小行星能用照相方法观测，但实际研究过并编了号和起了名（大多数）的不足6,000。最大的小行星是谷神星，直径是933公里；最小已知小行星的直径仅数百米，但小行星带中可能有小如卵石和尘粒的物体。只有10颗小行星大于250公里，只有120颗小行星大于125公里。

Mira 刍藁增二，荷兰天文学家大卫·法布里休斯（David Fabricius）在1590年代和1600年代经过一系列观察后发现的第一颗变星。刍藁增二是红巨星，以332天的平均周期收缩和膨胀，引起亮度增加和减弱。它离我们大约60秒差距，一颗黯淡伴星——鲸鱼座VZ绕它公转。鲸鱼座VZ是一颗有吸积盘的白矮星。

Miranda **天王卫五**，天王星的一颗卫星，1948 年被吉拉德·柯伊伯发现。旅行者 2 号行星际探测器拍摄的照片显示，天王卫五的表面是各种各样'地形'的杂乱堆积，说明它曾经在一次碰撞中粉碎，然后在引力作用下渐渐粘到一起。天王卫五的直径是 470 公里。

missing mass **短缺质量**，见暗物质。

Mitchell, Maria **米切尔，玛丽亚** (1818–99)，美国天文学家，原先为美国航海历编算局的图书馆员，后任该局计算员。1865 年被任命为新瓦萨尔大学天文学教授和天文台台长。她是第一位有名望的美国女天文学家，1847 年发现了一颗彗星。

mixed dark matter **混合暗物质**，见暗物质。

models **模型**，宇宙学和天体物理学中对宇宙或诸如恒星等客体提出解释、并可用来对有关这些客体的性质的理论进行检验的数学描述。

汽车或飞机等等日常器具的设计者可以用木头或金属制造实实在在的器具模型，通过测试模型的特性（比如用风洞），找出真实器具将如何运转。虽然不可能用同样办法制造一个实在的宇宙或恒星模型供分析，但可以建立方程式来描述物理学定律允许的客体性质。例如，这样的方程式可以把恒星内部的压力、密度和温度与星体的总质量和光度联系起来。通过调整数学模型中的参数（如规定一个不同的光度），有可能计算所有其他特性必将如何变化以适应这一调整。而通过将模型预计的结果与实际宇宙中对应客体的观测结果进行比较，理论家便能判断他们的理论和模型在何种程度上可以作为真实客体的描述。

今天，建立模型的工作几乎总是要使用高速电子计算机来完成繁琐的计算，这使详细计算模型的特性变得更容易。但实际上模型是数学方程式，而不是计算机，所以模型的特性原则上仍然能够像建立第一个这类模型时那样，用铅笔和纸算出来。

molecular cloud **分子云**，大多数物质取气体分子形态的星际云。小分子云和巨分子云都已经在银河系平面附近的星际物质中找到了。

小分子云的大小只有几光年，密度大致相当于每立方厘米含 1,000～10,000 个分子。它们的温度很低，约开氏 10～20 度。它们主要由 H_2 分子形态的气体氢构成。温度这样低是因为云内没有恒星加热；有些小分子云甚至含有更冷的内核，那里氢的密度至少要大 10 倍。

巨分子云除含有大量氢外，也有大量一氧化碳（CO）和数量较少的其他分子（某些最大的云中的

分子超过 60 种)。单个巨分子云的质量可以多达我们太阳的千万倍，大小约 150～250 光年，它们是我们银河系中单个质量最大的实体。

与小分子云不同的是，巨分子云与活跃的恒星形成区联系在一起，它们被内部的年轻恒星的辐射加热。一个这样的云可能含有好儿个密度较高的核，每个核的质量可达太阳的 1,000 倍，密度约每立方厘米 10 万个分子。这些核的红外辐射表明那里的恒星形成正处在早期阶段。例如，猎户座星云中就有一个巨分子云。有些巨分子云包含脉泽活动区。散布在银河系中的巨分子云有好儿千个。

molecule　分子，化合物或元素的可独立存在的最小部分。分子由两个或更多被电磁力维系在一起的原子构成。有些分子中的原子是完全相同的，这样的分子是元素的单位(如氢分子 H_2)；大多数分子含有不同的原子，这样的分子是化合物的单位 (如水分子 H_2O)。

Molonglo Radio Observatory　莫龙洛射电天文台，堪培拉附近一座由悉尼大学管理的澳大利亚射电天文台。它是 1966 年建成、后来改造为用于综合孔径工作的米尔斯十字型大射电望远镜所在地。

monopole　单极子，具有单一磁性——孤立的北磁极或南磁极——的假想粒子。某些大统一理论预言存在单极子，但从未找到它们。一个可能的解释是，暴涨时整个可观测宇宙是从只含一个单极子的区域膨胀开来的，而我们还没有碰上能够看见它的好运气。

monopole universe　单极子宇宙，安得列·林德新近提出的最富魅力的想像之一——整个宇宙存在于暴涨产生的单个磁单极子内部。很多大统一理论暗示我们的宇宙中存在大量磁单极子，但我们从未找到过它们。为解决这个‘单极子问题’，标准暴涨模型认为发育成我们整个可见宇宙的种子是如此微小的量子涨落，以致它仅仅含有一个单极子。这个单极子仍然存在于宇宙的某处，但它也许永远不会同我们相遇。

但林德从理论上发现，导致暴涨的条件甚至在整体宇宙的暴涨停止以后仍然继续存在于一个磁单极子内部。这样的单极子就像一个把我们的宇宙通过时空中的虫洞与另一个暴涨时空区连接起来的带磁性的黑洞。在这个暴涨区内，量子过程可以产生单极子－反单极子对，随之这些单极子对因暴涨而按指数率快速分开。然后，暴涨停止，留下一个和我们自己这个宇宙很相似、可能包含一到两个单极子的膨胀宇宙，而每个单极子内部又有更多的暴涨时空区。

结果形成一种暴涨宇宙彼此镶

嵌在对方内部，并通过磁单极子虫洞相互连通的永无穷尽的套叠结构。我们的宇宙可能就在一个单极子内部，后者又在另一个宇宙之中，后者又在另一个单极子内部，依此类推以至无穷。林德所称的‘指数膨胀空间的连续创造’就是指‘单极子本身就能够解决单极子问题’。虽然这看来稀奇古怪，但他强调这个思想是‘极为简单，因而肯定值得进一步研究’。

极具讽刺意味的是，任职于斯坦福大学的林德，是在罗马召开的一次关于宇宙诞生的研讨会上做报告时，宣布他那荒谬绝伦的思想的，而罗马人关于创造的观点通常是相当不同的。另见免费午餐宇宙。

Moon 月球，我们的行星地球拥有的惟一天然卫星。它是离我们这个星球最近的天体，也是研究得最彻底的天体，它还是人类至今亲身访问过的惟一天体。

月球是在大约46亿年前与地球同时形成的。它有一个小小的富铁核心，但大部分成分是岩石，它的表面到处是环形山。这些环形山是在太阳系年轻时、主要是月球形成后大约5～7亿年期间内，被小行星轰击而成。一直持续到大约20亿年前的火山活动，将玄武岩注入月球表面的大片地区（叫做‘海’，尽管那里没有水），玄武岩冷却变硬成为平原。月球基本上没有大气，因为月球表面的引力只有地球表面的大约六分之一，这对保持大气层是太弱了。



月球。1969年阿波罗12号拍摄的月球近距离照片。

潮汐力使月球的自转减慢，直到它和绕地球的公转同步为止，这使得月球永远以同一边朝向地球。月球的直径是3,476公里，与地球的平均距离是384,400公里（约1.3光秒），绕地球公转一周历时27.322天（恒星月）。同母天体相比，月球是太阳系中最大的天然卫星，它的质量是地球的1.23%（冥王星－冥王卫一这个两体系统看来不是真正的行星－卫星组合）。在很多方面，地球－月球系统很像一个双行星。

moons 卫星，严格讲，这里指的是行星的天然卫星（尽管英文'moon'偶尔被滥用来包括人造卫星）。除离太阳最近的水星和金星外，太阳系的其他每个行星至少有一颗卫星（虽然把冥王卫一定义为卫星相当勉强，把冥王星定义为行星也有点勉强）。

太阳系中总共有65颗已知的卫星，随着绕巨行星公转的越来越多的小天体被发现，数量还在不断增加。这个总数不包括围绕行星的环系统，比如土星的环就含有无数细小的岩石和冰块，它们都可以看成名副其实的卫星。拥有大气的卫星有三颗（绕土星公转的土卫六、绕木星公转的木卫一和绕海王星公转的海王卫一）。土卫六是太阳系中第二大的卫星，直径5,150公里；算得上是卫星的最小天体是绕木星和土星运行的不规则岩块，它们的大小只有几十公里，大概是被俘获的小行星。

Morley, Edward Williams 莫雷，爱德华·威廉斯（1838－1923），美国化学家和物理学家，他热爱精密测量，同阿尔伯特·迈克耳孙共同进行的著名实验未能找到光在其中传播的'以太'存在的任何证据。见狭义相对论。

morning star 晨星，见金星。

Mount Hopkins Observatory 霍普金斯山天文台，弗雷德·惠普尔天文台原来的名字。

Mount Palomar Observatory 帕洛马山天文台，1947年建成的著名200英寸（5.08米）海尔望远镜所在地。由加州理工学院管理的这座天文台还拥有两具施密特照相机和一具1.5米反射望远镜，台址在洛杉矶附近的山上，海拔1,710米。

Mount Stromlo and Siding Spring Observatories 斯特罗姆洛山及赛丁泉天文台，澳大利亚国家天文台所属的从事光学天文研究的天文台。台址有两处，一处是堪培拉附近海拔770米的斯特罗姆洛山，另一处是新南威尔士州海拔1,150米的赛丁泉山。主要设备为1.9米（斯特罗姆洛山）和2.3米（赛丁泉）两具反射望远镜。赛丁泉的台址亦由英澳天文台分享。

Mount Wilson Observatory 威尔逊山天文台，直径100英寸（2.54米）的胡克望远镜所在地，在加利福尼亚州帕萨迪纳附近，台址海拔1,750米。威尔逊山天文台乃乔治·海尔用安德鲁·卡内基（Andrew Carnegie）捐赠的经费创建于20世纪初，目前由哈佛大学、南加利福尼亚大学和洛杉矶大学学院共同管理。除1990年代初全面翻新仍在使用的胡克望远镜外，它还拥有几具太阳望远镜和一具1.5米反射望远镜。

moving cluster method 移动星团法，

测定太阳附近恒星距离的一种巧妙方法（也叫做移动星团视差法）。

这个方法全靠选取一群离我们足够近的恒星，使得能在合理时间（几年或几十年）内测出其横过天空的运动。如果这些恒星是在空间步伐一致运动的疏散星团的一部分，它们在天空上的个别轨迹看起来就像从天空一个点发散开来（或朝一个点会聚）。这是一种光学错觉，和两根平行直线铁轨似乎在远方地平的一点相交完全一样。发散点（或会聚点）指明了恒星群在空间的真实运动方向。

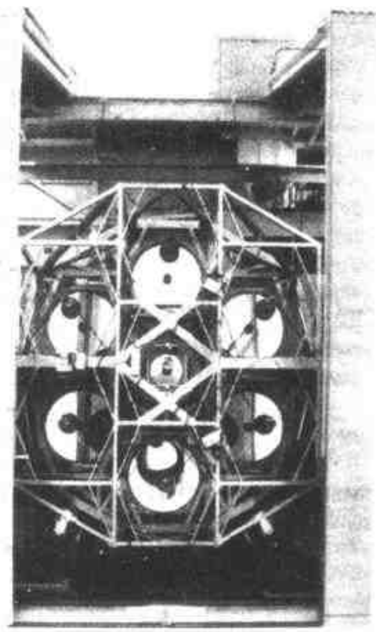
通过测量星团中个别恒星的光因多普勒效应引起的红移，天文学家能够算出恒星沿视线朝向或远离我们的速度分量。根据这个速度分量和恒星在空间的运动方向，就能得出恒星在与视线垂直方向上的运动速度（表示为公里每秒，或光时每10年，或你喜欢的任何其他单位）。将这一速度与测量的恒星每年横过天空的角度结合起来，就能计算出恒星的距离。

这个方法只能用于离太阳系几十秒差距以内的星团，天文学家已经成功地用它测定了一个星团——离我们大约40秒差距的毕星团的距离。毕星团中有很多类型不同、颜色各异的恒星，它们的光度可参照它们的光谱分类来定标。

MSW effect　MSW 效应，见太阳中微子问题。

Mullard Radio Astronomy Observatory (MRAO)　马拉德射电天文台（MRAO），剑桥大学的射电天文台，赖尔望远镜所在地，梅尔林干涉网的一部分。综合孔径方法主要是这座天文台发展起来的。MRAO也是发现脉冲星的主要基地之一。

Multiple Mirror Telescope (MMT)　多镜面望远镜（MMT），弗雷德·惠普尔天文台的一具反射望远镜，安



多镜面望远镜（MMT）。坐落在亚利桑那州霍普金斯山上的这台望远镜有六块独立的反射镜，它们组合起来的威力相当于单台直径4.5米的望远镜。

放在亚利桑那州海拔 2,600 米的霍普金斯山上。它将六个直径 1.8 米的反射镜组合起来，威力相当于孔径 4.5 米的单个镜面。该望远镜在整个 1980 年代运转十分成功，但 1990 年代中期用直径 6.5 米的单个镜面取代了六个镜面。

multiple stars **聚星（多重星）**，至少由三颗通过引力束缚在一起的恒星组成的系统（只含两颗恒星的系统叫做双星）。复杂的聚星系统和小星团之间并无明确差别，但含六个成员的系统（如北河二）通常视为聚星。北河二有两个双星，它们各自绕系统的质心公转（以大约 500 年的周期互相绕着跳舞），另一对红矮星在远得多的地方绕质心公转。这样的等级结构在聚星系统中是很典型的。

现已查明全部‘双星’的大约 1/3实际上是聚星，因为双星的一个成员自身又是双星。同样，全部三合星的大约1/3实际上是四合星。类似北河二的系统可能含全部双星的大约 0.1%，而全部恒星的大约 60%至少拥有一颗伴星。组成聚星系统的恒星大概是单个太空气体尘埃云坍缩时一起形成的。

muon **μ 介子**，见基本粒子。

N

naked singularity **裸奇点**，不隐藏在黑洞的视界后面的奇点。我们的宇宙可能诞生于一个裸奇点。见宇宙监察。

nanometre **纳米**，十亿分之（10^{-9}）米。

NASA **美国宇航局**，美国国家航空航天局的简称，创建于1958年（对前苏联发射第一颗人造卫星做出的反应），统管美国一切民用空间计划，包括研制用于科研的太空探测器，如旅行者空间探测器和水手探测器系列，以及哈勃空间望远镜，等等。

National Radio Astronomy Observatory（NRAO） **国家射电天文台（NRAO）**，总部设在西弗吉尼亚州夏洛特斯维尔的美国射电天文台，它管理的设备有格林班克的射电望远镜和新墨西哥州索科罗的甚大天线阵。

nebulae **星云**，过去对天空中任何模糊光斑的通称。现在已经知道其中很多是银河系外面的其他星系，所以有时仍用过时的河外星云称呼它们。例如仙女座星系常仍称为仙女座星云。其他的星云现在已知是我们银河系内部的发光气体云，它们往往是产生恒星的场所，猎户座星云就是这类星云的典型代表。星云的英文名'nebula'来自拉丁文，意思就是'云'。

很多星云肉眼可见，但发明望远镜后不仅看到了比肉眼所见多得多的星云，而且证明很多星云是十分密集因而眼睛无法分开的极暗弱恒星组成的。19世纪前半叶的许



星云。猎户座中的马头星云，美国基特峰国家天文台4米望远镜拍摄。

多天文学家，尤其是赫歇尔家族，认为所有星云都由恒星组成，但1860年代使用光谱学方法证明有些星云确实是气体云。不过那时仍然不知道由恒星组成的星云究竟是在银河系内部还是在它的外面；一直要到1920年代埃德温·哈勃及其同事们测定了几个河外星云的距离，这个问题才得到解决。

在我们银河系内，明亮的发射星云由近旁恒星辐射的能量保持温热，它们在天文照片上呈现红色，是因为氢的特征辐射在光谱红区。反射星云因反射恒星的光而显示其存在，它们因星云中的尘粒散射星光的方式而呈蓝色（这和使地球天空呈现蓝色的散射完全一样）。有些暗吸收星云之所以能被看见，是因为它们遮挡了更遥远恒星的光——它们好像是明亮恒星背景上阴暗的洞穴。

nebular hypothesis **星云假说**，认为太阳系由太空中的物质云（'星云状物质'）形成的观念。这个基本概念可追溯到1755年，当时伊曼努埃尔·康德在他的《自然通史和天体论》一书中指出，行星是从一个原始物质云凝聚而成的。后来皮埃尔·拉普拉斯也独立得到同样的观点，于1796年发表在《宇宙体系概说》一书中。

起初，星云假说的支持者认为，行星是由太阳大气中的不规则构造物凝聚而成，因为他们想像太阳大气向外太空延伸很远。后来这一原始观念发展成为将整个太阳系看成由一个巨大气体云形成的模型，云的大部分物质坍缩成太阳，少量物质沉降到围绕太阳的盘中，盘破裂成与太阳距离不等的环，环再凝聚为行星。虽然原始观念在过去200年间已有很大改变，而且很难解释以这种方式形成的太阳为何今天自转如此缓慢（和旋转的滑冰者缩回手臂一样，原始气体云收缩时应该自转得更快），但这个假说仍然是行星形成的最可能的描述。

Neptune **海王星**，巨行星之一，通常是从太阳向外的第八颗行星，尽管冥王星有时会跑到海王星轨道以内（1979～1999年期间就是如此）。海王星是1846年根据约翰·亚当斯和于尔班·勒威耶的预报发现的，但伽利略可能在1613年就看见过它并有所记述，只不过他未曾意识到那是一颗行星。海王星每164.79年绕太阳运行一周，与太阳的平均距离是30.06天文单位，轨道几乎是正圆形。它的质量是地球的17.2倍，直径为48,600公里，已知的卫星有8颗。它与天王星十分相似。

Nereid **海王卫二**，海王星的一颗小卫星，1949年由吉拉德·柯伊伯发现。它的直径约340公里，轨道到海王星的平均距离为550万公里，

质量不明。

neutrino **中微子**，轻子族的基本粒子，不带电荷，质量极小（可能是零），和其他粒子之间只有弱相互作用（见基本力）和引力作用。

1930年代初，在解释β衰变中观察到的反常现象时，已经指出需要有中微子。β衰变中的部分能量好像‘丢失’了，量子物理学先驱之一的沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）认为需要一种‘新’粒子带走多余的能量。他把这种新粒子起名为中子。他的见解几乎没有引起反响，以致中子之名实际上赋予了1932年发现的一种完全不同的粒子。但恩里科·费密重新记起了泡利的思想，当有人问他泡利的‘中子’是否和新发现的中性粒子相同时，他开玩笑说，‘不，泡利的粒子不过是中微子’，从此中微子这个名称就沿用下来了。

中微子极难探测，但它们在核聚变反应中大量产生，1956年监测到美国萨凡纳河核反应堆溢出大量中微子而终于证明其存在。25年前，泡利曾许诺给任何证明他所指的中性小粒子存在的实验家一箱香槟酒；他十分愉快地兑现了他的长期诺言。

没过几年，约翰·巴科和雷·戴维斯就已经着手制定探测太阳中微子的计划，中微子天文学这门新学科由此产生。从那以后，已经探测到超新星1987A的中微子，如果它们确实有质量，它们就是宇宙中暗物质的一部分。

1995年初，美国新墨西哥州洛斯阿拉莫斯国家实验室宣称，有一项实验表明中微子确实有质量，其数值为0.5～5电子伏，从而激起巨大兴趣。如果这些结果得到进一步实验的支持，其推论将具有真正重大的宇宙学意义。虽然每个中微子的质量如此微不足道，但宇宙中的中微子数量极多（每立方米空间大约有10亿个），它们加起来的质量将超过全部明亮恒星和星系的总和。流行的暴涨理论预计，中微子在平坦宇宙（见宇宙模型）所要求的总质量中将贡献大约20%。

但这正是宇宙学家希望听到的。如果使宇宙平坦所要求的全部暗物质都取中微子形态，那么星系就永远不可能形成。在宇宙年轻时期以接近光的速率在太空狂奔的中微子的撞击下，原始气体云中的任何不规则性应该早已被抹掉了。

然而，星系在天空中分布成链、团和纤维等形态这一事实强烈表明，它们是在大量所谓冷暗物质的引力影响之下形成的；与中微子（作为对比，称为热暗物质）不同的是，冷暗物质由具有数十倍于电子的质量（电子本身质量为500,000eV）、但在太空缓慢运动的假想粒子所构成。

对膨胀宇宙中星系形成过程的计算机模拟表明，最接近星系观测特征的模拟要求80%的冷暗物质和20%的热暗物质（而明亮星系只占宇宙物质的1%左右）。

洛斯阿拉莫斯的研究班子所用的方法是监测所谓一种中微子振荡成另一种中微子。中微子有三种，它们分别与电子、μ介子和τ粒子相伴生。洛斯阿拉莫斯的实验让纯μ中微子通过盛有200吨矿物油的容器。μ中微子不能与矿物油相互作用，但电子中微子则能。如果有些μ中微子变成了电子中微子，其中少数几个将与矿物油原子中的质子相互作用而产生闪光，这些闪光将被矿物油容器周围的探测器记录下来。

结果看来和以上描述的完全一致。实验家们从发生率得出所涉及的中微子的质量为0.5～5电子伏。虽然这个消息令人高兴，大多数宇宙学家的态度却是谨慎的'等着瞧'，至少也要等到其他实验证实这些发现。不过这一发现如果正确无误，将是对宇宙和星系形成的标准理论的强有力支持。

另见太阳中微子问题。

neutrino astronomy **中微子天文[学]**，利用对太空中微子敏感的探测器研究宇宙的学科。中微子天文学始于1960年代，这要归功于理论家约翰·巴科和实验家雷·戴维斯的努力，他们设计了一个采用（全氯乙烯中的）氯监测太阳中微子到达事件的探测器。1965年开始运行的这个戴维斯探测器仅仅记录了太阳中微子预期数量的大约三分之一（见太阳中微子问题）；人们在谈论这一发现的意义时，往往忽视了一个重要事实：探测到任何太空中微子本身就是一个伟大的胜利，而戴维斯探测器的成功开创了宇宙研究的一个新分支——中微子天文学。

迄今中微子天文学的大多数研究涉及的是太阳中微子。太阳内部产生的大量中微子洪水般漫过地球并穿透地球球体。中微子对普通物质的存在简直不屑一顾，如果一束像太阳内部产生的那种中微子穿过厚度为1,000秒差距的实心铅板，也只有一半会被沿途遇到的铅原子核俘获。

由于中微子如此不愿意同其他形态物质（包括探测器）相互作用，所以仪器必须十分灵敏；但灵敏的仪器必须屏蔽起来以避免其他粒子如宇宙线的干扰。所以，中微子'望远镜'都放在深矿井或山底隧道中，利用它上面的密实岩层挡住讨厌的粒子。中微子望远镜在其他方面也和传统望远镜大不一样。

像利克天文台120英寸反射望远镜那样的仪器，其重要部件不是支撑镜面的重达50吨上下的钢铁构架；真正重要的只是一点点与光

子发生实际相互作用的物质——镜面上的薄薄一层闪闪发亮的铝膜。这层以正确方式安放在高山之巅的总量仅仅1立方厘米的铝，就是你研究天体光线所需要的全部。然而，虽然120英寸望远镜的反射镜表面只镀有1立方厘米的铝，但装载戴维斯探测器工作物质的那个惊人巨大的钢制容器（和奥林匹克运动会的游泳赛池一样大）的内'表面'则'镀有'超过40万升的全氯乙烯——要想研究中微子，就需要把这整个'工作表面'正确安放在大山之下或深矿井之中。

1960年代末以来，戴维斯探测器实际记录的太阳中微子与容器中的氯原子相互作用'事件'，平均起来大约是每两天一次。这一记数率是这类仪器正常运转时的典型值；它相当于研究特定类星体的光学天文学家每两天只能看到一个光子。

戴维斯探测器获得成功后，其他专用于中微子天文学研究的探测器接踵而来，其中有些（如萨奇实验和伽勒克斯实验）使用镓作为工作物质。此外，为其他研究目的设计的粒子探测器也被证明可记录来自太空的中微子。像日本的神冈中微子探测实验那样的探测器本来是为探查质子的放射衰变产生的中微子；这种衰变从未观测到，但该探测器（一个直径15.6米、高16米、盛有3,000吨水的圆柱形容器）的灵敏度使它得以探查出与容器中水分子的电子相互作用（仅偶尔发生）的宇宙中微子。其他一些根据电子'散射'效应设计的探测器已在澳大利亚以及意大利北部的格兰·萨索实验室建造；还有各种新类型探测器正在世界各地纷纷规划和建造之中。

就太阳中微子而言，由于不同的探测器工作在不同的能段，开始时情况有点混乱。起初，人们不清楚不同的探测器是否彼此相符，但在运转了几年以后，对于到达我们这里的太阳中微子数量和类型的看法已经比较一致了。

但这仍然和理论家的预言不完全相符，尽管差异已不像戴维斯探测器最初表明的那样大。然而，往往强调得不够的是，即使考虑到现有的不确定性和观测与理论之间可能的小差异，太阳中微子的观测结果总的说来与理论预言是符合的。我们这里谈的不是那些要求全面重建理论模型的观测，而是可能提出对理论进行小改动——微调——的细微差别。基本图像是与太阳核心部分约开氏1,500万度温度下，提供能量以使太阳发光的那些核聚变反应相符合的。这是理论和实验的双重伟大胜利。

然而，中微子天文学真正成熟的标志，是世界上的好几具探测器

记录了与超新星1987A爆发有关的中微子脉冲。这颗超新星是1987年2月23日在地球上通过可见光观测发现的，但那天看到的光是产生该超新星的恒星爆发时从大麦哲伦云出发，在太空已经旅行了16万多年才抵达我们这里。对当时正在运转的世界各地中微子探测器的记录进行分析后，证明有一个中微子脉冲正好早于超新星的光到达地球。对这一现象的解释是，来自那颗临死恒星的中微子产生于星体核心部分坍缩之时，这大概是坍缩释放的能量能够炸开恒星外层并发出眩目的可见光之前3小时。只要中微子探测器在合适时间运转，它们就能预报超新星的爆发——不过中微子探测器因为不具备方向性而无法告诉光学天文学家应该把他们的望远镜指向何方。

由于探测器计数率很低以及需要观测相当长一段时间才可能有所收获，中微子望远镜通常是每次连续运转几天，然后再分析相关数据。但发现那颗超新星后，这种常规工作模式被打破，马上对前一天的数据进行了分析。只有两个探测器当时正好按照工作时间表运行，而且它们的灵敏度足以检测那颗超新星的中微子。神冈中微子探测实验研究组在13秒钟内探查到一群共11次中微子事件（不过其中大多数出现在头一秒钟），俄亥俄州克利夫兰附近一具类似探测器（属于加利福尼亚-欧文大学和芝加哥大学）在6秒钟内探查到8次事件(别忘了戴维斯探测器的太阳中微子计数率是每两天一次)。

如此多的中微子在几秒钟内到达这一事实，对中微子的质量施加了严格的限制。如果中微子的质量和光子一样等于零，那么它们全体将以光速运动，甚至经过16万年长期旅行，它们也将同时到达（假定它们同时出发）。但如果中微子有质量，即使它们的质量全都一样，它们的运动速率将取决于它们各自的能量。就像棒球被击打得越重，飞行得越快一样，超新星爆发时获得最大推力的中微子将运动最快，到达最早。如果中微子的质量较大，这一现象将更加显著；好几个中微子在超新星爆发之初出发，经过16万年旅行后，彼此相差不到一秒钟的时间内到达，这个事实说明，每个中微子的质量必定小于大约15电子伏。这对于推算中微子在宇宙总密度中的可能贡献具有重要意义（见暗物质)。

当然，根据这些观测，仍然可以认为中微子的质量可能准确等于零，它们以真正的光速运动，不过它们从超新星出发的时间略有不同。但最重要的结论是，中微子的质量不可能超过15eV。

根据天体物理学家的计算，一

颗像1987年2月23日在大麦哲伦云中看到的超新星爆发时，其内核坍缩将释放大约10^{58}个中微子。这些中微子以光速（或非常接近光速）向太空扩散成为球壳。当球壳抵达地球时（这时它的直径大约是100千秒差距）已经稀薄得多了，通过神冈实验探测器的中微子大约'只有'300万亿个，其中仅仅11个与电子碰撞，留下了可探测的证迹。那时，地球上每个发育正常的成人身体都有大大超过100亿个来自超新星1987A的中微子穿过，很可能有少量中微子与某些人眼球玻璃体中的电子相互作用，产生瞬时闪光。我们中间的一两个人也许已经亲身感受到了来自超新星的中微子的直接影响。

中微子天文学的潜力可从粒子物理学家对超新星1987A中微子观测结果的利用程度略见一斑。探测到的超新星1987A的19个中微子提供的信息，足以排除理论家钟爱的粒子之一存在的可能性，而把另一种作为宇宙暗物质最可能的候选者。

如果中微子的质量为零，而且都以光速运动，那么它们到达时间的大约12秒钟跨度与爆发成超新星的那颗恒星内核坍缩为大约10公里直径的中子球所要求的时间准确相符。后来到达的中微子携带的能量比最先到达的略为小些，表明正在形成的中子星是如何冷却的，并且和理论预言十分一致。

坍缩星内核产生的中微子爆是由内核坍缩释放的引力能发动的，在那样的高能条件下，也可能产生了其他粒子，但这仅当它们的各种特性搭配合适才有可能，其中一个特性是它们的质量，另一个是它们同其他粒子和辐射相互作用（耦合）的强度。

由于中微子带走了坍缩星核产生的大部分能量，所以能被上述其他粒子带走多少能量就被限定了。今天，物理学家们对理论预言存在但从未探测到的两种粒子特别感兴趣，一种是所谓的超对称性（AUSY）理论要求的光伴子，另一种是为解释左旋粒子和右旋粒子的差异——即它们的'轴'对称性——所要求的轴子。

理论预言了这些粒子除质量外的所有性质。令人惊讶的是，超新星1987A提供的信息表明，如果光伴子真的存在，它们就必定很重，比质子要重得多。因为，如果存在轻的光伴子，它们就应该已经在爆发时大量形成，并带走实际上已经随中微子而去的那些能量。没有其他的观测或实验能够排除轻光伴子的存在。

但超新星的数据却与爆发时产生大量轴子，并带走未被中微子带走的剩余能量这一可能性颇为相

容——条件是每个轴子的质量大约是千分之一电子伏（作为比较，一个电子的质量是50万电子伏）。尽管如此微小，理论却认为宇宙中轴子的数量极为庞大，只要每个轴子真有这么点儿质量，它们就能提供很多宇宙学家为使宇宙'闭合'所需要的全部暗物质，从而保证宇宙当前的膨胀终有一天会反转过来。

从仅仅19个中微子到达时间和能量的测量数据提取的信息量是如此惊人，以致粒子物理学家似乎都目瞪口呆了。既然根据19个中微子能获得如此丰富的知识，他们简直是翘首以待下一次超新星爆发，目前，更多更灵敏的中微子探测器已经建成并投入运行。

1987年2月以来，那颗超新星产生的中微子球壳一直在宇宙中膨胀，很可能某些地方其他文明世界的中微子探测器正监视着它的到达。与此同时，在地球上，比以往更多更灵敏的中微子探测器已经准备就绪，正严阵以待下一次中微子爆，甚至可能已经发生了另一次超新星爆发，它产生的中微子爆正以接近光的速率向我们飞驰而来，但它的光还没有到达我们这里。

neutrino oscillations **中微子振荡**，见太阳中微子问题。

neutron **中子**，存在于氢以外的一切原子核中的基本粒子。中子无电荷（由此得名），质量稍大于质子。在原子核外，一个中子将衰变为一个质子、一个电子和一个反中微子。中子是重子族的成员，每个中子由三个夸克构成。

neutron star **中子星**，几乎完全由中子构成、具有原子核密度的恒星。这样一颗恒星含有与太阳大致相同的质量，却被压缩成一个直径约10公里的球。

1930年代初，萨布拉曼扬·昌德拉塞卡发现，恒星核燃料消耗完后形成的白矮星的质量若大于太阳质量的大约1.4倍，就无法支撑自身来对抗引力坍缩。由此得出当时引起极大争议的结论是，任何已经死亡的恒星若仍含有大于这个昌德拉塞卡极限的质量，将无限制地坍缩成为今天称之为黑洞的东西。中子在1932年被发现后，一些物理学家和天文学家立刻开始思考存在完全由中子构成、密度介于白矮星和恒星质量黑洞之间的恒星的可能性，并且猜测这种恒星的质量可能有一个上限。苏联物理学家列夫·朗道认为所有恒星都可能含有中子'内核'，但随后的计算证明，如果恒星内核的'中子化'真的开始，那将是恒星内区突然坍缩、并在一次爆炸中释放大量引力能的失控过程。这一结果和弗里茨·兹威基关于中子星可能形成于超新星爆发的观点颇为一致。

到了1930年代末，所有这些

思想，还有罗伯特·奥本海默和他的学生乔治·弗尔科夫（George Volkoff）的计算，都已公开发表。奥本海默和弗尔科夫的计算证明中子星的质量确有上限，现在称为奥本海默－弗尔科夫极限。任何死亡后的恒星若含有多于3倍太阳的质量，必将无止境地坍缩。然而多数天文学家直到1/4世纪后才认真对待这一有关中子星的思想，而1960年代中期偶然发现的脉冲星终于使他们确信中子星真的存在。

现在人们已经承认这些超密恒星确实形成于超新星爆发。超新星爆发时的强大压力可以造就质量小到只及太阳质量1/10的中子星（任何质量更小的恒星在试图成为中子星的过程中将变成小白矮星，因为有些中子通过β衰变转化为质子）。某些中子星可能是质量接近昌德拉塞卡极限的白矮星演变而成的，如果后者吸积足够的多余物质（比如从双星系统中的伴星），使得质量超过这一极限的话。

中子星有一个铁和类似元素（见核合成）构成的外壳，它的下面是‘正常’中子区；再往下则是流体区，其主要成分是超流中子；还可能有一个夸克组成的中心内核。中子星物质的密度是白矮星的100万倍，水的1,000万亿倍，所以每立方厘米中子星物质重达10亿吨左右。

Newton, Isaac 牛顿，艾萨克（1642－1727），英国物理学家和数学家，有史以来最伟大的科学家之一。他发现了以他的姓氏命名的引力定律和运动定律，数学上发明了微积分方法，光学方面完成了十分重要的研究，包括设计一种新型反射望远镜。通过与实验的比较来检验和改进理论的现代科学研究方法实际上也是他创立的，这种方法取代了多少带有荒唐幻想成分的凭空想像。

按照当时仍在英国使用的儒略历，牛顿是在1642年的圣诞节，诞生在林肯郡的乌尔索普。而按当时已在天主教国家颁行的格雷果里历（即我们今天通用的公历），他的生日是1643年1月4日。所以，



艾萨克·牛顿（1642－1727）。

虽然有时说牛顿出生在伽利略逝世(按格雷果里历是1642年1月8日)的那一年，但那完全是两种不同历法体系日期的‘巧合’。

牛顿是遗腹子，他三岁时，母亲再嫁，幼小的艾萨克由他的外婆抚养。1658年他的母亲再次丧夫，便把他接回乌尔索普家中，打算让他耕种她的农田。尽管牛顿十分能干且有一双精于制作器物的巧手，却对农耕毫无兴趣。在一位舅舅的干预下，牛顿得以重返学校（格兰瑟姆附近）为大学学业做准备。1661年他进入剑桥大学三一学院，1665年毕业。

虽然他打算取得剑桥大学特别研究生资格，但大学因瘟疫流行而临时关闭。随后的18个月，牛顿居住在乌尔索普，思考各种科学问题，用棱镜进行光的实验。

1667年牛顿回到剑桥大学，同年成为三一学院特别研究生，1668年被聘为卢卡斯数学教授，时年26岁（他担任此职直到1701年辞去剑桥一切职位为止）。此后30年他在剑桥度过，基本上是独自一人工作，既从事令后人缅怀的科学研究，也热心于炼金术实验，后者对现代科学家来说显得十分稀奇古怪，当时却是倍受尊敬的事业。

牛顿性格孤僻，对自己的工作情况严格秘而不宣；他孤军作战提出他的观点，却常常陷入与其他学者争夺优先权的苦涩辩论之中。这也许和他孩提时代的经历有关，他习惯了三年没有父亲管教的放任娇养，突然离开母亲的日常呵护，去对付着和外婆生活在一起。他首次引起科学界注意的是他发明的牛顿望远镜，并因此而被选为当时尚属新机构的皇家学会的特别会员。不久他和罗伯特·胡克（Robert Hooke, 1635 – 1703）就提出光和颜色理论的优先权发生猛烈的争论，不得不退回剑桥保持沉默。他耐心等待直到胡克去世后，才于1704年发表他的《光学》一书，这时他已拥有最后决定权。

这时，作为皇家学会会长的牛顿的名字已经是家喻户晓，而且他即将成为爵士（1705年由安妮女王册封）。导致这一切的是他对引力和力学的研究，但他的成果则多亏埃德蒙·哈雷的鼓励才得以公之于世。

1680年代，科学界对行星何以按照开普勒定律沿椭圆轨道运动的问题深感兴趣。1684年，哈雷造访牛顿时惊奇地获悉，牛顿很久以前就已经解决了这个问题（事实上，他在乌尔索普躲避瘟疫的那一年就洞悉了问题的实质）；沿椭圆轨道运动的理由是引力遵守平方反比律。哈雷说服了牛顿发表他的解释，而牛顿一旦开始写作，就把原

来打算写成短文的东西发挥成了《自然哲学的数学原理》这样一部杰作(所有科学家都把它简称为《原理》)。1687年《原理》出版——哈雷甚至为它支付了出版费用，当然这并不完全是哈雷的利他主义行动，他从这部著作的成功也获得了小小的收益。

《原理》是迄今最重要的科学著作（其影响甚至超过《时间简史》[38]），它影响了其后300年的科学进程。除了陈述引力定律和运动定律外，它也奠定了现代科学方法的基础。《原理》出版后，牛顿对科学的贡献不大，他开始涉足政坛，两次出任国会议员，一度沉迷于炼金术实验。1692年他得了一场严重的精神抑郁症，可能和他与之打交道的有毒化学物质有关，但他完全康复了。

1696年，牛顿谋得皇家造币厂监理职务，迁居伦敦；1698年提升为造币厂厂长，并不遗余力履行他的职责，完成了必要的币制改革。正是因为这，他于1705年被封为爵士。虽然他从1703年一直担任到去世为止的皇家学会会长职务，曾经为学会带来相当权益并有助于树立学会的声望，但晚年的牛顿失去了他的吸引力，学会的影响也日渐衰微，而牛顿仍继续与其他科学家，包括约翰·弗兰斯提德和德国数学家哥特弗里德·威廉·莱布尼兹（1646－1716），就某些科学发现的优先权进行激烈争吵。1727年3月20日，牛顿在疾病的痛苦折磨下逝世，他安葬在威斯敏斯特教堂。伏尔泰对此评论道，英格兰尊敬一位数学家犹如其他国家尊敬一位国王。

阿尔伯特·爱因斯坦在20世纪出版的牛顿的《光学》一书的前言中写道：

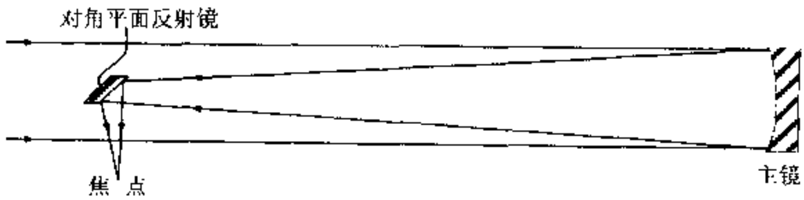
> 世界对他来说是一本打开的书，他能毫不费力读懂它的意义。他把经验材料整理成体系所用的概念，似乎是从经验本身、从他的漂亮实验中自发泉涌而出。他安排的实验顺序分明，得心应手，他对实验的解释无比详尽。他展现了集实验家、理论家、技工和艺术家于一身的特质。他在我们面前是强大的、正确的、独一无二的；他对创造的愉悦和他那细致入微的精密性体现在他的每句话和每个数字之中。

补充读物：理查德·韦斯特福尔著《牛顿传》[44]。

newton（N）　牛顿（N），用艾萨克·牛顿的姓氏命名的力的单位。1牛顿是使1千克质量获得1米每秒每秒的加速度所需要的力。

Newtonian mechanics　牛顿力学＝经典力学。

Newtonian telescope　牛顿望远镜，艾



牛顿望远镜。牛顿望远镜示意图。

萨克·牛顿设计的一种反射望远镜——正是这项发明引起了皇家学会对牛顿的工作的注意。在这一系统中，光线射至镜筒下部的抛物面主镜，然后朝上反射到一块小平面镜，后者再把光线向旁边反射，通过镜筒上的一个小孔而会聚于镜筒外的焦点。这一设计现今仍为业余天文爱好者的小望远镜广泛采用，但不适合大望远镜，因为焦点处在一个很不方便的位置。

Newton's law of gravity 牛顿引力定律，艾萨克·牛顿发现的一条普适定律：宇宙中任何地方的任意两个质量（m_1 和 m_2）之间的吸引力，与两质量的乘积成正比，与它们间的距离（r）的平方成反比。将比例常数记为 G，这一定律可写成 $f=Gm_1m_2/r^2$。常数 G 叫做引力常数。

Newton's laws of motion 牛顿运动定律，艾萨克·牛顿在其伟大著作《原理》中宣布的描述物体动力学特性的三条基本定律。它们是：

1. 一切物体在不受外力作用时将保持其静止或匀速直线运动状态。
2. 当一个力作用于一个物体时，它将改变该物体的动量（实质上是速度），且改变的数量与作用力成正比，改变的方向与力的作用方向相同。作用力 F、物体的质量 m 和产生的加速度 a 之间的数学关系式为 $F=ma$。
3. 每当一个力作用于一个物体，该物体总要产生一个大小相同、方向相反的回推力。所以，例如，把我向下拉的引力等于我的身体重量，而我坐的椅子以大小相等方向相反的力将我往上推，使我能静坐椅中而不致加速朝地球中心跌落（如果没有椅子或地板的介入，我就会跌落下去）。而在引力把我向地球中心拉的同时，我的身体也以相等的力将地球朝我这边拉。

在地球表面上，我们的日常感觉显然和牛顿定律相左，因为摩擦无时不在起作用，使得运动的物体停止

下来。事实上，摩擦也遵循牛顿定律。这些定律在自由下落状态的太空飞船内部表现得十分明显，它们也支配着一切天体的行为。

见经典力学。

N galaxy N星系，具有明亮中心核的星系，是介于宁静星系和类星体之间的多种类型活动星系中的一类。它们常常是射电源。

NGC 星云星团新总表，常记为NGC，乃英文全名‘New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars’的简称。见天体表。

nitrogen 氮，宇宙中最普通的原子物质之一——按原子数居第五位，按质量居第六位。它的原子序数是7，最普通同位素的每个核含7个质子和7个中子。在主序大质量恒星内部提供能量的碳循环中，氮起着重要作用；氮也是生命所需的关键元素之一（见CHON）。

no boundary condition 无边界条件，从极早期宇宙的模型中消除大爆炸的奇点的一个方法。这个奇点好像宇宙的边界——不是空间边界，而是时间边界。这样一个边界的存在，自然会提出边界的另一面是什么——即大爆炸‘之前’发生了什么——的问题。1970年代末，斯蒂芬·霍金指出这个问题没有意义，因为在‘时间起点’处并非真有边界，描述大爆炸的方程式中出现的奇点是人为现象，而不是宇宙的实际物理边界。

霍金及其同事提出的模型，试图将量子理论法则应用于整个宇宙，并采用了极为艰深的数学。不过它的基本要点可通过一个简单类比来理解。

设想用球面上的圆这样一根一维线代表整个宇宙。大爆炸的时间对应着十分年轻的宇宙，而年轻宇宙可用围绕球面上一个极点的小小的圆来代表（该极点本身则是‘时间起点’）。宇宙随着时间的流逝而膨胀，这可依次表示为离极点越来越远、离赤道越来越近的圆。一旦越过赤道，圆将变得越来越小，并在另一个极点通过一次大崩塌（奥米伽点）而消失。

但是，虽然在膨胀宇宙诞生的极点存在一个‘时间起点’，但那里没有‘界线’，与地球北极没有界线完全一样。如果你在北极附近朝正北方出发，并沿直线走去，你将越过北极点，然后发现你在走向正南方。同样，如果你能逆着时间走向过去直达‘时间起点’，并继续走下去，你将越过它，然后发现你又顺着时间走向未来了。你不会在‘大爆炸之前’止步的。

霍金的宇宙模型是一个完全自足的没有边界的时空泡——或者如霍金所说，‘宇宙的边界条件可能是它没有边界’。

non-Euclidean geometry 非欧几何

[学]，适用于弯曲表面或弯曲时空的几何学法则。而欧几里得几何学只适用于平面和平坦时空。

有两类非欧几何学可用于宇宙时空的描述，而且两者都有其相应的二维形式。具有正曲率的几何学可用一个封闭的球面代表，而在球面上沿直线旅行则能返回到出发点。在这样一个表面上，三角形三个角之和总是大于 180°，而三个角之和的准确数值则与三角形的大小有关。

具有负曲率的几何学可比拟为一个开放的、状如山间隘口的‘鞍形表面’。它能够无限延伸，它表面上的三角形三个角之和小于 180°，但三个角之和的准确数值同样与三角形的大小有关。在我们这个具有三个空间维度（加上一个时间维度）的宇宙中，正曲率对应闭合模型，负曲率对应开放模型（见宇宙模型）。如果宇宙是非欧几里得的，则球的体积将与按欧几里得几何学计算的体积不同；然而我们的宇宙是如此接近平坦，以致即使用不同距离处的星系计数方法也测不出这种差异。另见伯恩哈德·黎曼。

nova **新星**，一颗黯淡的恒星通过爆炸暂时变成的明亮可见的天体。古时，演变成新星的那些暗星很少能为肉眼所见，这就是将它们视为全新的恒星的原因。但现代天文学家使用比人眼灵敏得多的照相方法发现，在拍摄了新星所在天区的老照片上，常常有一颗暗星出现在新星的位置。这就为研究新星的爆前性质提供了可能，再加上它们的爆后特征，十分有助于建立新星如何爆发的合理模型。

大多数（几乎可以肯定是全部）新星是双星系统中的白矮星爆发造成的。在这些双星系统中，伴星是密近轨道上的红巨星，爆发则是伴星物质被吸积（通过一个吸积盘）到白矮星表面所导致的后果。流向白矮星的物质每年可达太阳质量的大约 10 亿分之一，当被吸积的物质形成足够厚的一层时，它底部的压力引起爆发式的核聚变反应，把物质向外炸开，而引起恒星突然变亮。这一过程是重复发生的——已经发现很多新星的重复爆发（例如北冕座 T 在 1866 年和 1946 年的两次爆发），其余的则因重复的时间尺度太长，迄今还不可能被人类监测到。

发生新星爆发时，恒星一般突然增亮 10 个星等以上（几天之内亮度增加近 10 万倍，然后在几个月的时间内逐渐衰减），其表面温度升高到大约开氏 1 亿度。每次爆发抛掉的物质仅约太阳质量的万分之一，但这却是给星际介质添加重元素的重要来源——像银河系这样的普通盘状星系中，每年大致有

25颗新星爆发。但一次新星爆发释放的能量只有超新星释放的能量的100万分之一。

Novikov, Igol Dmitrievich 诺维科夫，伊戈尔·德米特里耶维奇（1935－），苏联物理学家，贡献良多，包括在1960年代初预言存在背景辐射，并在一篇论文中指出，搜寻这一辐射的理想仪器是美国贝尔实验室的喇叭天线。那时正是冷战高峰期，西方天文学家没有注意到他的建议；当预言中的辐射真的用诺维科夫指出的仪器发现时，发现者阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊倍感惊奇。

诺维科夫1959～1962年在国立莫斯科大学学习，在天文学方面获得第一个学位，1963年获博士学位。后来他在莫斯科应用数学研究所工作，1970年代后半期任莫斯科空间科学研究所相对论天体物理研究室主任，1980年代在莫斯科拥有两个教授职务，1990年代成为莫斯科列别杰夫研究所理论天体物理研究室主任。1991年起，他被聘为哥本哈根大学和哥本哈根北欧理论原子物理学会研究中心的天体物理学教授。除从事专业工作外，他也写了好几本科普书和适合普通读者的文章。

诺维科夫和基普·桑尼（Kip Thorne）一道，在1980年代颇受关注的虫洞概念的形成和时间旅行的研究中发挥了重要作用。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]。

nuclear fission 核裂变，一个重原子的核分裂为两个或更多部分、并在分裂时释放能量和两到三个自由中子的过程。

裂变释放能量是因为原子核中质量－能量的储存方式以铁及相关元素（见核合成）的核的形态最为有效。从最重的元素一直到铁，能量储存效率基本上是连续变化的，所以，重核能够分裂为较轻核（到铁为止）的任何过程在能量关系上都是有利的。如果较重元素的核能够分裂并形成较轻的核，就会有能量释放出来。然而，很多这类重元素的核一旦在恒星内部形成，即使在形成时要求输入能量（取自超新星爆发），它们却是很稳定的。

不稳定的重核，比如铀－235的核，可以自发裂变。快速运动的中子撞击不稳定核时，也能触发裂变。由于裂变本身释放分裂的核内中子，所以如果将足够数量的放射性物质（如铀－235）堆在一起，那么一个核的自发裂变将触发近旁两个或更多核的裂变，其中每一个至少又触发另外两个核的裂变，依此类推而发生所谓的链式反应。这就是称之为原子弹（实际上是核弹）和用于发电的核反应堆（通过受控的缓慢方式）的能量释放过

程。对于核弹，链式反应是失控的爆炸，因为每个核的裂变引起另外好儿个核的裂变。对于核反应堆，反应进行的速率用插入铀（或其他放射性物质）堆的可吸收部分中子的物质来控制，使得平均起来每个核的裂变正好引发另外一个核的裂变。

1千克铀–235的全部核的裂变将产生20,000兆瓦小时的能量（足以让20兆瓦的发电站运转1,000小时），与燃烧300万吨煤释放的能量一样多。另见裂变和聚变。

nuclear fusion 核聚变，若干轻核聚合成一个较重的核、并在聚合时释放能量的过程。

聚变释放能量是因为原子核中质量–能量的储存方式以铁及相关元素（见核合成）的核的形态最为有效。从最轻的元素一直到铁，能量储存效率基本上是连续变化的，所以，轻核能够聚合成为较重核（到铁为止）的任何过程在能量关系上都是有利的。虽然较轻元素的核可以是稳定的，但如果这些核足够紧密地挤压在一起（例如在恒星内部极高的压力下），它们将克服各自所带正电荷造成的斥力而互相结合，并在结合时放出能量。

在恒星内部，聚变释放能量的过程主要有两个，即碳循环和质子–质子反应。迫使核发生聚变所要求的极端条件（例如超过开氏1千万度的温度），使得在地球上实现受控条件下的聚变极为困难，然而这却正是所谓氢弹的能量释放过程。氢弹的核聚变是借助一个原子弹（见核裂变）的爆炸引发的。人们期望着受控核聚变反应堆某天能够发电成功。

两个氘核的聚变释放的能量大约是单个铀–235核裂变所产能量的2%。但是，由于一个铀–235核的重量约为一个氘核的100倍，所以1千克氘所含氘核数将是1千克铀–235所含铀–235核的大约100倍。因此，如果1千克氘的全部氘核两两聚变，它们将提供与1千克铀–235完全裂变大致一样多的能量，也就是相当于燃烧300万吨煤。另见裂变和聚变。

nuclear interactions 核相互作用，见基本力。

nucleon 核子，在原子的核内发现的两种基本粒子——质子和中子的总称。

nucleosynthesis 核合成，最简单元素氢的核转变成较重元素的核的过程。这个核聚变过程的第一步是在大爆炸中完成的，它将大量氢转变成氦；但除最轻的几种元素外，所有其他元素都是在恒星内部叫做恒星核合成的过程中由氢和氦加工而成。

大爆炸核合成发生在宇宙已经

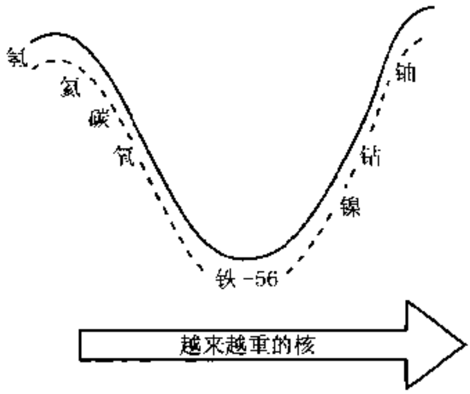
膨胀和冷却到温度大约开氏 1,000 亿度那一刻之后，这大概是奇点爆发后百分之一秒，即暴涨时期已经过去很久。那时，宇宙迅速膨胀和冷却，但在它膨胀冷却时，原始质子和中子经由β衰变和逆β衰变彼此互相转化。这个过程在宇宙年龄约 3 分 46 秒钟、温度降到开氏 9 亿度时结束。这时，宇宙继续冷却和膨胀，质子和中子的比例则‘冻结’下来了：重子形态质量的大约 25%成为氦核，差不多 75%成为氢核，还有极少量其他轻核，如氘和锂。

这就是提供给恒星核合成的原料。恒星核合成已在 1950 年代由弗雷德·霍伊尔及其同事详细论证（见B^2FH；霍伊尔也曾在 1960 年代涉足大爆炸核合成的研究，他的工作如此重要，以致威廉·麦克雷爵士说，‘正是这篇论文促使很多物理学家承认大爆炸宇宙学是一门严肃的定量科学’）。恒星内部的元素形成基本过程是将氦－4 核（又叫做α粒子）加进已经存在的核，所以元素是按每步 4 个原子质量单位一步一步加工出来的。氦本身也在主序恒星内部由氢加工而成（见质子－质子链和碳循环），所以在恒星演化的较晚阶段有大量的氦作为原料。但是，核合成系列的第一步就遇到了一个瓶颈，因为两个氦－4 核结合而成的铍－8 核极不稳定，它将在形成之后仅仅 10 亿亿分之一秒破裂。多亏霍伊尔的洞察力证明，三α过程可以克服这个瓶颈，因为它实质上是自发地将三个氦－4 核聚合成一个碳－12 核。

正如一个氦－4 核的质量略小于两个质子和两个中子加在一起的质量，因而代表一种较稳定的物质形态，一个碳－12 核的质量也略小于构成它的三个α粒子的质量之和。以这种方式每形成一个碳－12 核，‘多余的’质量便按照著名公式 $E = mc^2$ 转化成能量。

一旦恒星含有了碳，剩下的事情就多多少少是一帆风顺了。只要聚变过程仍然释放能量，聚变就将继续下去。再添加一个α粒子便聚合成氧－16，照此处理，将依次加工出氖－20、镁－24，而终于形成硅－28。与此同时，产生电子或（比较罕见）正电子的放射衰变过程还形成了其他元素和同位素——但核中含有相当于整数个α粒子的元素仍然最为普通。这一连串反应的最后一步是一对硅－28 核结合成铁－56 和相关元素，如镍－56 和钴－56。这些‘铁峰’元素是所有元素中最稳定的，要想加工更重的元素，必须输入能量，强迫这些核聚合在一起。

为说明这一切，我们用一个山谷表示每个核储存的能量，因而也就是核的稳定性。谷底是每个核子



核合成。‘稳定性谷’。铁组元素的核储存能量的效率比更轻和更重元素的核都要高，所以不论是较轻核的聚变还是较重核的裂变都将释放能量。

所含能量为最小的铁峰元素（尽管它们在谷底，我们也说是‘峰’，因为它们比较普通，而且在元素的宇宙丰度表中突出为一个高点）。沿山谷的一边坡往上，是越来越轻的元素，坡顶上是氢。设想每个元素站在沿坡设立的一个小岩架上；如果没有干扰，它将停留在岩架上不动，但如果推它一下，它将往下跳一级，并释放出比被推时获得的能量稍多一些的能量。沿另一边坡往上，是比铁越来越重的元素，如铅和铀，它们也站在各自的岩架上。但要把较低岩架上的元素向上移动到较高的岩架（即将它变成较重的元素），将需要很多能量。只要有机会，很多重元素都乐意在称为核裂变的过程中分裂，将多余的能量释放掉而朝谷底跳到另一个较低的岩架上。

当高能中子渗人核并停留在核中时，也能在恒星内部形成比铁更重的元素。作为恒星内部各种聚变反应副产品的中子到处都有，使得较重元素可以缓慢而平稳地通过这一途径形成，这叫做s过程。同样，由此产生的‘新’核本身可以是稳定的，也可能放射一个正电子而变成另一种稳定的核。这种缓慢的中子俘获过程可以生产从铁-56到铋-209的各种元素，但如果铋-209俘获一个中子，它就将在类似铍瓶颈的过程中通过α衰变分裂。这全部活动正在质量小于大约9倍太阳质量的红巨星中进行。

当有大量高能中子时，更重的元素，以及铁-56和铋-209之间的富中子核，可以通过快得多的中

子俘获过程（r过程）加工而成。这种情况发生在超新星爆发过程中，这时，恒星内核坍缩的引力能'费力地'驱动聚变反应，使得两个或更多中子迅速地相继被一个核俘获，随后是一连串的β衰变。很多同位素可以在以上两种过程中形成，极少数稳定的、中子不那么富裕的核则只能形成于r过程及随后的β衰变，仅仅28种同位素只能产生于s过程。两种过程都中止于质量很大的元素；如果这样的重核真的在超新星中形成，它们也将很快分裂——或是通过α衰变（发射一个氦－4核），或是通过核裂变(产生两个大致相等的'子'核，每个子核的质量约为分裂前的核的质量之半)。

天体物理学家竟然能够如此详尽描述发生在恒星内部的这些过程，这似乎令人难以相信，然而，有关的各种核反应的'截面'是根据地球上粒子加速器的研究结果定出来的，而基于这些截面的模型所作的预言与观测到的各种元素的宇宙丰度符合得很好。结论是，无论是关于宇宙诞生后最初百分之一秒到3分46秒间这段时间内曾经发生过什么，或是关于今天的主序星、红巨星和超新星内部正在发生什么，我们的认识都是十分可靠的。

nucleus 核，由质子和中子构成、集中了一个原子的几乎全部质量的原子中心部分。在一个原子中，核的周围是一群电子。核与电子群的大小比例大致相当于艾伯特大厅中间的一颗沙粒。在极端条件下，比如在恒星中心，核也能独立存在。

核这个词是物理学家经过深思熟虑后，仿效生物学称呼生命细胞中心部分，而选用的。后来这个名词的使用范围进一步扩大，天文学家也用'核'称呼星系和彗星的中心部分。

Nuffield Radio Astronomy Laboratories **纳菲尔德射电天文实验室**，见焦德雷班克。

O

Oberon 天王卫四，天王星的较大卫星之一，1787 年由威廉·赫歇尔发现。它的表面到处是环形山，直径 1,524 公里，公转轨道和天王星之间的平均距离 582,600 公里，质量约我们月球的 4%。

occultation 掩，一个天体在另一个天体前面经过的事件。太阳暂时被月球遮挡时的日食是掩的实例。月球和行星掩恒星和其他更遥远天体的事件也时有发生。

Ockham's rasor 奥康姆剃刀，英国论辩家和哲学家奥康姆（约 1285－1349）提出的一个法则，即‘除非必要不得增加实体’。用现代话说就是，如果某件事物有两个可能的解释，而其中一个解释比另一个简单，则应该优先采用简单的解释。这一法则被证明是发展科学的有益的（尽管不是确实可靠的）指导。

OGLE 奥格勒［实验］，光学引力透镜实验的英文（Optical Gravitational Lensing Experiment）首字母缩略语的音译。这是波兰和美国的一个天文学家小组合作搜寻 MACHO 的计划，所用仪器是拉斯·康帕纳斯山天文台 1 米反射望远镜配备的电荷耦合器件探测器。领导该计划的是普林斯顿大学的玻丹·帕琴斯基（Bohdan Paczynski），他是（1985 年）提出有可能观测到我们银河系中暗物质造成的引力微透镜效应的第一人。

Olbers, Heinrich Wilhelm Matthaüs 奥伯斯，海因里希·威廉·马塔乌斯（1758－1840），德国业余天文学家和数学家（它的职业是医生），他提出了夜天空何以黑暗的难题，改进了彗星的轨道计算方法，发现了两颗小行星。

奥伯斯 1758 年 10 月 11 日生于不来梅附近的阿德伯根，是一名路德教派牧师的儿子。他在故乡接受教育，对数学和天文学有强烈兴趣，但却于 1777 年入格廷根大学学习医学。期间，他也旁听数学和天文学课程。1779 年，他还是一名医科学生的时候，就利用自己对约翰尼斯·埃勒特·波得发现的一颗彗星的观测资料，计算了该彗星的轨道。经过在维也纳的深造，他在 1781 年获得医生资格并定居不来梅，在那里成功地开业行医直到 1823 年退休。但行医期间，他将房屋的顶层改建成天文台，安置了好几具望远镜，进行正式的天文观测。

1796 年，奥伯斯独立发现了

一颗彗星，并用他自己制定的新方法计算了它的轨道。这个方法十分成功，在整个19世纪被奉为标准方法，奥伯斯也因此树立了他作为著名天文学家的形象。

那时，人们对太阳系的火星和木星轨道之间的‘空缺’极为关注，因为波得定则认定那里应该有一颗行星。这个空缺中的第一颗小行星在1801年被意大利人乔瑟普·皮亚齐（Giuseppe Piazzi）发现，起名谷神星。但皮亚齐将这个小行星弄丢了，而当德国的卡尔·高斯（1777 - 1855）根据皮亚齐的观测计算出它的轨道，奥伯斯则于1802年1月最先重新找到了它。

当年晚些时候，在跟踪观测谷神星时，奥伯斯发现了第二颗小行星，起名智神星；1807年他又发现了一颗，叫做灶神星。他还发现了另外4颗彗星，计算了他人发现的18颗彗星的轨道。他最先指出构成彗星尾巴的物质云产生于彗星的核，并且是被太阳推出来的。关于月球对气候的影响以及陨星的起源等问题，他也很感兴趣。

但奥伯斯享誉最高的是他对现在以他的姓氏命名的奥伯斯佯谬的论述，尽管事实上他并不是思考这一难题的第一人。1823年，即从医生行业退休的那一年，64岁的奥伯斯发表了他关于黑暗夜天空难题的论述，并且指出，如果有气体和尘埃形态的稀薄云状物质充斥在恒星之间，难题就能得到解答。他论证道，正是这样的云状物遮挡了遥远恒星的光和热；然而他未能认识到云状物在遮挡星光的同时，它们的温度将变得如此之高，以致它们自身将同任何恒星一样发出耀眼的光芒。

1840年3月2日，奥伯斯在不来梅逝世。

Olbers' Paradox　奥伯斯佯谬，夜间的天空为什么是黑暗的这样一个难解之谜。但这仅当宇宙是永恒而且不变的情况下才成其为难题，而1920年代前人们对宇宙广泛持有的观点正是如此。真正的谜倒是，在这之前为什么没有人把这个‘佯谬’颠倒过来，将夜天空的黑暗作为论证宇宙必定诞生于有限时间以前的理由。

用‘奥伯斯佯谬’作为这一难题的名称是宇宙学家赫尔曼·邦迪在1950年代推广的，为的是纪念就此难题撰写过一篇划时代论文的19世纪德国天文学家海因里希·奥伯斯。但是，正如这道难题并非真是佯谬，它也并非出自奥伯斯。和马赫原理一样，对此问题的讨论可追溯到奥伯斯之前很久的年代。

这个难题可以十分简洁地加以陈述。它立足于三个假设：宇宙是无穷大的；它是永恒而且不变的；它充满了和银河系（或者与银河系

类似的星系）中的恒星大致一样的恒星（难题的现代版本则说充满了星系）。在这些假设下，当我们眺望宇宙时，我们在任何方向都应该看得见恒星（星系）。每一根‘视线’都将中止于一颗恒星的表面上；所以，为什么我们居然能看见恒星之间有黑暗的缺口呢？整个天空本应该全是耀眼的光芒。

要懂得这个难题的含义，你可以设想身处无穷大的森林之中。森林中的树木彼此相距稀疏或是紧密无关紧要；只要它真正无穷大，那么，不论你朝哪个方向的近旁树干之间的缺口望出去，你都能够看见更远处至少一棵树的树干。

这是难题的简单陈述，天文学家称它为‘举手之劳’的论证。但我们可以对此难题进行严格的数学论证，从而使其含义更加明白。设想地球位于一个包含很多恒星（星系）的大球中心，大球周围是一层薄薄的壳，就像橘子的皮，壳层含有一定数量的恒星（星系），显然全部恒星（星系）到我们的距离相等。如果恒星（星系）的数量足够多（只要宇宙无穷大，就不难做到这点），则可以粗略地认为单颗恒星（星系）给地球夜天空贡献的平均亮度相等。但恒星（星系）的视亮度与它到我们的距离的平方成反比，所以，整个恒星（星系）壳层提供的亮度等于壳层中的恒星（星系）数目乘以平均亮度，再除以壳层距离的平方。

如果个别恒星（星系）全都有着大致相同的绝对星等，因而它们越远则看起来越暗的话，那么你可能猜想，这样一个点缀着恒星（星系）的壳层如果半径更大，将看起来越暗。然而，较大的壳层却含有较多的恒星（星系）。事实上，如果恒星（星系）在整个宇宙中均匀分布，包含在每个壳层中的恒星（星系）数目将正比于壳层和我们之间距离的平方，因为球的表面积正比于半径的平方。这正好抵消了壳层中个别恒星（星系）视亮度的减弱。因此，每个球壳给夜天空贡献的亮度相等。

严格的计算确实比举手之劳的论据更有说服力。既然壳层的数目可以无穷多，而每个壳层贡献等量的光，天空就应该无穷明亮。对此，最好的反驳理由也许是近邻恒星遮挡了较远恒星的一部分光——但仍然可以预期天空应该到处如太阳这类恒星的表面一样亮。难题已不仅仅是夜天空何以黑暗，而在于为什么它即使白天也如此黑暗。

你对这一切觉得难以理解的程度取决于你对三条基本假设的赞成程度。这三条假设告诉我们的，虽然是关于宇宙的结构，但更多的是有关我们不太久远的祖先们的文化修养。那是英国人托马斯·蒂杰斯

在 1576 年写下来的。蒂杰斯抛弃了托勒密认为恒星附着在一个围绕地球的水晶球上的概念，想像地将恒星散布到无边无界的太空之中。蒂杰斯把无穷的概念引入现代宇宙图像（虽然古代的德谟克利特已经想到了无穷空间的可能性），他也意识到应该解释无穷宇宙中为什么夜天空竟然是黑暗的。他认为天空之黑暗不过是因为较远的恒星太黯淡而无法看见——这一见解在 16 世纪可以接受，但一旦详细计算出球形壳层的光如何累加起来，它就站不住脚了（精密的计算要用到艾萨克·牛顿的微积分，而牛顿 1642 年才出生）。

1610 年，约翰尼斯·开普勒探讨过这个难题，他似乎最早领悟到（即使没有微积分的帮助！）夜天空的黑暗直接和充满明亮恒星的无穷宇宙概念相冲突。他把夜天空的黑暗看成不过是宇宙大小有限的证据——他说，当我们通过恒星之间的缺口眺望时，我们看到的是一堵围绕着宇宙的黑暗的围墙。在这幅图像中，你不是站在无边无际的森林之中，而是在一片小树林里，当你通过近旁树干之间的空隙观望时，你看到了树林外面的世界。一个世纪以后，埃德蒙·哈雷也研究了这个难解之谜，但他又回到了较远恒星由于太暗而无法看见这一错误见解。

最先把夜天空黑暗之谜陈述得与以上形式有点儿相似的人是 18 世纪的瑞士天文学家让－菲利普·罗伊·德谢梭。他根据恒星的大小和它们之间的距离，经过一步一步的仔细计算后得出，只要宇宙的直径达到（用当代话说）10^{15}光年（1 千万亿光年），我们朝任何方向眺望太空时都应该看得见一颗恒星。与哈雷和蒂杰斯不同的是，德谢梭认识到这一场合下的几何关系保证了遥远恒星的黯淡正好被恒星数量的增加所抵消。但德谢梭对难题的‘解释’并不比哈雷和蒂杰斯的高明——他认为虚无的空间真正吸收遥远恒星光的能量，从而使光在宇宙中传播时变得越来越黯淡。

再往后就是奥伯斯出场了，他讨论这个问题是在 19 世纪，他得出相似的结论，认为遥远恒星的光被恒星之间的稀薄物质云所吸收。他未能懂得的是，这将提高物质云的热度，直到它发射的能量和它接收的能量相等为止——实际上，直到它和恒星本身一样明亮为止。所以——难题的解答究竟在哪里？

显然，三条基本假设中至少有一条是错误的。我们仍然不能肯定宇宙是否是无穷大；宇宙大概真像我们看到的那样充满了星系；但我们确实知道它并非永恒而且不变。我们所知的宇宙起源于大约 150 亿年前的一次大爆炸，它是不断变化

的，因为时空的膨胀带领着星系彼此分开越来越远。天空之所以不发射耀眼光芒的部分解释就是宇宙随着时间的流逝而膨胀、而演化。遥远星系的光因此而产生红移，而红移确实能稍稍减弱旅途中的光，这在表观上类似于德谢梭提出的星光减弱。

哎呀，如果宇宙无限年老，并且一直在膨胀，新创造的星系又补充到老星系分开后留下的空隙中去（稳恒态假说就是这样要求的），那么单是用红移将不能解脱奥伯斯佯谬对我们的困扰。我们通过恒星和星系间的空隙究竟看到了（用射电'眼睛'）什么呢？我们在那里检测到的是宇宙背景辐射的轻微嘘嘘声，也就是温度为 2.7K 的'光'。那是起源于宇宙年龄约 300,000 岁、充满了和今天太阳表面一样热的辐射的时候，而今天已高度红移了的电磁辐射。如果宇宙自那时以来未曾膨胀过，那么整个空间将仍然和当时一样热，并且和恒星表面一样明亮——因此，和宇宙膨胀相联系的红移是夜天空黑暗的原因之一，不过奥伯斯和他的前辈们丝毫不知存在过大爆炸火球。

但是，星光何以还未能让宇宙充满能量（原始的奥伯斯佯谬）的原因不过是它还没有足够的时间做到这一点。比方说，50,000 光年以外的星系发出的光需要 50,000 年才能到达我们这里，而在一个年龄 150 亿岁的宇宙中，我们只能'看见'最远到 150 亿光年的星系（即使它们在宇宙诞生后立刻形成）。就算宇宙无穷大，更远星系的光也来不及抵达我们。粗略地说，德谢梭的计算表明，宇宙直径至少要有 10^{15} 光年同时年龄至少要有 10^{15} 岁，才能使每一根视线中止在一颗恒星上（如果考虑到恒星在星系中聚集成团，上述数字更大）。这个年龄大约是大爆炸以来经历过的时间的 10 万倍。如果宇宙诞生于离我们现在足够近的过去某个确定时刻，那就不会有夜天空黑暗之谜。

令人不解的是，牛顿和他的同时代人为什么没有想到'佯谬'的上述解答呢？光的有限速率已在 1676 年经戴恩·奥利·罗默测定，牛顿对此一清二楚，他在 1704 年出版的《光学》一书中还提到过。当哈雷 1721 年向皇家学会宣读两篇有关夜天空黑暗之谜的文章时，牛顿是学会会长。然而不论是他或是其他人都未曾指出，只要假设恒星是不久之前才存在，难题就能得到解决。这一疏忽格外难以理解，因为当时的教会教导说，宇宙创始于公元前 4004 年。牛顿时代的每一位天文学家应该能够立刻算出，任何距离超过（1721 + 4004）光年的恒星发出的光还没有来得及抵达地球——而一个半径小于 6,000 光年

的球形空间是太小了（如德谢梭的计算所表明的），它包含的恒星不足以使夜天空明亮。牛顿、哈雷和他们的同时代人没有指出这一点，也许正好说明他们对教会所讲的宇宙创始年代是多么的不信任。

通过空间上的广延和时间上的回顾，我们看到的是存在于恒星诞生以前的黑暗。那么，谁是最先认识到这一点的最伟大的天文学家呢？不是别人，而是诗人和小说家埃德加·艾伦·坡（Edgar Allan Poe，1809 – 49）。坡以其短篇小说最为著名，也是热心的业余科学家，1848年2月，就在他40岁去世的前一年，他在一篇演讲中陈述了奥伯斯佯谬的解答。这篇演讲在1848年末以短论形式发表，题目是《我知道了①》。在这篇短论中，关于恒星之间的黑暗缺口（他称之为空穴）问题，坡写道：'因此，要理解我们的望远镜在无数方向找到的空穴，惟一的办法是设想尚未看见的背景的距离是如此遥远，致使它发出的光根本来不及到达我们这里。'

没有人注意到一位诗人的这些业余推测，更何况这位诗人还没有来得及推广他的见解就英年早逝。也没有人注意到1907年爱尔兰科学家富尼埃·达尔比（Fournier d'Albe）著文讨论黑暗夜天空问题。达尔比曾明确指出，'如果宇宙是在10万年前诞生，那么离我们10万光年以上的天体的光现在根本不可能抵达我们这里'。达尔比这一思想的来源不是坡，而是开尔文男爵，后者把他对黑暗夜天空问题的见解于1904年发表在一卷演讲集中，可惜它们长期尘封，直到1980年代才被马萨诸塞大学的爱德华·哈里森（Edward Harrison）发掘出来。

甚至在已经发现了宇宙正在膨胀，认识到宇宙必定起源于过去某个确定时刻的情况下，仍然无人充分估量到奥伯斯佯谬所提供的洞察力的重要性，直到哈里森对它的发展史产生了兴趣，花费数年工夫才揭示出全部故事。它显然不仅仅具有历史上的意义。从牛顿到埃德温·哈勃，人人都有可能用他们亲眼所见的证据，领悟到宇宙诞生在有限时间以前。真的，用你自己的眼睛仰望黑暗的夜天空，你就能看到确实发生过大爆炸的最清楚不过的证据。

补充读物：爱德华·哈里森著《夜间的昏暗》[45]。

① '我知道了'的原文'Eureka'出自希腊语，是阿基米德发现了测算王冠纯金含量的方法时情不自禁发出的欢呼。——译注

Omega Point 奥米伽点，大崩塌的另一名称。大崩塌就是一个闭宇宙（见宇宙模型、密度参数）坍缩成一个奇点的事件，它是我们的宇宙诞生于一次大爆炸的事件的镜像反转。奥米伽点标志着我们所知的时间的终点，但不一定是宇宙的'边界'（见无边界条件）。

在向奥米伽点坍缩过程中，星系大约在大崩塌的一年前开始彼此重叠。大致在这个时候，背景辐射变得比恒星内部更热，所以恒星破碎而变成热粒子汤。离大崩塌一小时的时候（根据坍缩宇宙中的时空收缩速率），星系中心的超大质量黑洞开始并合。但就在这一时刻，按照加拿大艾伯塔大学魏纳·以色列（Werner Israel）等人提出的模型，与黑洞内部奇点相关的强大引力场将使余下的全部坍缩在普朗克时间 10^{-43} 秒钟、而不是 1 小时内完成。这样的坍缩甚至比暴涨期间宇宙的高速膨胀更为狂烈。

这种灾难性的最后坍缩的最可能结果是超密态宇宙的'反弹'，并开始一个新的膨胀阶段。奥米伽点变成一次新的大爆炸，我们的大爆炸可能曾经是另一个宇宙（或者，如果愿意，同一个宇宙的上一次循环；见振动宇宙）的奥米伽点。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]。

Oort, Jan Hendrik 奥尔特，詹·亨德里克（1900 – 92），荷兰天体物理学家，主要研究星系（包括我们的银河系）的结构。他是用射电天文方法，通过观测氢的 21 厘米波长特征发射，研究银河系的开创者之一；1950 年代初，他将 1930 年代爱沙尼亚人恩斯特·欧皮克（Ernst Öpik，1893 – 1985）的思想加以发展，提出存在一个现在称为奥尔特云的彗星带。

Oort cloud 奥尔特云，太阳周围一个远远超出最外面行星轨道的球壳中的大量彗星。这个彗星云（也叫做欧皮克 – 奥尔特云）离太阳 30,000 ~ 100,000 天文单位、大致在到最近恒星距离的中点处。它可能含有多达近万亿颗彗星，它们的轨道取向杂乱无章，并非都在行星的轨道平面内。我们在太阳系内区看到的彗星是来自奥尔特云的临时访客，它们因近旁恒星的引力影响而从云中脱出，沿着需要几百万年才能运行一周的轨道掉向太阳。其中部分访客被俘获到短周期轨道而重复地进入太阳系内区——哈雷彗星就是最著名的例子。

奥尔特云中的物质总量大概只有地球质量的几倍。这些彗星被认为是太阳系形成后留下来的碎片，它们原来在巨行星位置附近，但后来在木星引力影响下被抛进了它们现今的轨道。

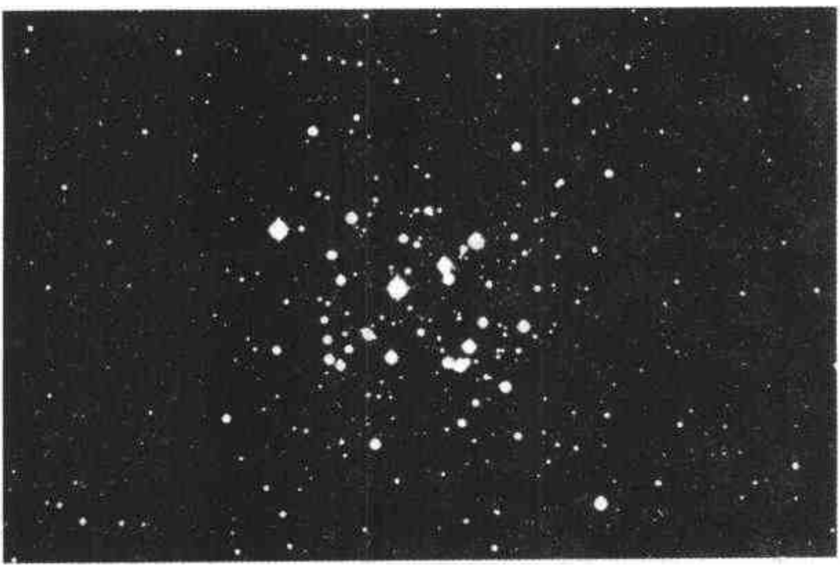
Öpik-Oort cloud 欧皮克－奥尔特云，见奥尔特云。

open cluster 疏散星团，恒星分布比球状星团中稀疏的一类星团。它们在大约1秒差距范围的区域中包含的恒星少至几十多则数千。疏散星团含有星族I的年轻热星，它们是不久前在银河系盘体中形成的。疏散星团有时也叫做银河星团。

open universe 开宇宙，见宇宙模型。

Oppenheimer,（Julius）Robert 奥本海默，（儒略·）罗伯特（1904－67），美国物理学家（1904年4月22日出生在纽约），1920年代和1930年代从事量子理论研究，最著名的是他在原子弹研制中所起的作用——他是研制原子弹的洛斯阿拉莫斯国家实验室首任主任。

奥本海默长期同情左翼，反对发展氢弹，结果在麦卡锡时代被怀疑政治上对美国不忠；他失去了安全许可证，不能再参与秘密计划。尽管如此，他1947～1966年任普林斯顿高级研究所所长，并兼任教授直到1967年2月18日去世。1963年，在美国原子能委员会的建议下，奥本海默被授予恩里科·费密奖，这是对他前10年受到莫须有罪名政治迫害的一种过迟的补偿表示。



疏散星团。船底座中的疏散星团 NGC 3293。恒星像上的‘尖刺’是成像仪器引起的。

不大为人所知的是，奥本海默为发展简并物质的理论做出了重要贡献。沉迷于列夫·朗道提出的'中子核'概念的奥本海默，和他的学生罗伯特·塞尔伯（Robert Serber）一道，改进了朗道的计算。然后，奥本海默和另一名学生乔治·弗尔科夫（George Volkoff）证明（在一篇1939年发表的论文中），中子星的质量有一个上限（称为奥本海默－弗尔科夫极限），不可能存在超过这一上限的稳定中子星。1939年9月奥本海默又和另一名学生哈特兰·斯奈德（Hartland Snyder）合作发表一篇论文，对黑洞的天体物理学特性进行了现在认为是最早的清晰的说明（不同于卡尔·史瓦西等人的纯数学处理）。

对于大质量恒星最终命运的理解，至今仍然以他们的表述（《物理学评论》，56卷，455－459页）最为简洁扼要：

> 当全部热核能源消耗殆尽，一颗质量足够大的恒星将坍缩。除非自转造成的分裂、质量的抛射、或辐射作用下的质量流失，将恒星质量减少到与太阳质量相仿，这种收缩将无止境继续下去……恒星发出的光将逐步变红……一个外部观测者将看见这颗恒星渐渐地缩小到它的引力半径。

部分由于第二次世界大战在这篇论文发表的那个月爆发，直到四分之一世纪以后，当脉冲星被发现并被解释为自转中子星时，才又注意到这些思想，天文学家才信服地承认中子星确实存在，因而黑洞也可能存在。

Oppenheimer-Volkoff limit　奥本海默－弗尔科夫极限，一颗稳定中子星可能拥有的质量的上限，是罗伯特·奥本海默和他的学生乔治·弗尔科夫于1939年推定的。他们证明，稳定中子星的存在，仅当它们的质量在太阳质量的10%～70%的范围内才有可能。质量比这更小的恒星只能成为白矮星或褐矮星。质量超过这一范围的上限时，则将如奥本海默和弗尔科夫当时所写的（《物理学评论》，55卷，374－281页）那样，'恒星将无止境地不断收缩，永远不能达到平衡'。换言之，它将变成黑洞。较新近的计算表明，稳定中子星质量上限可能是太阳质量的两到三倍，我们仍然把它叫做奥本海默－弗尔科夫极限。

opposition　冲，比地球离太阳更远的某个行星在其绕太阳的轨道上正好处于从地球看来与太阳相反的位置（所以子夜时它正好高悬头顶）。见合。

optical astronomy　光学天文［学］，以利用可见光，基本上就是在电磁波谱中我们眼睛敏感的波段进行的观测为基础的天文学。

optical pulsar　光学脉冲星，除射电波的脉冲外，也在可见光波段发出闪耀的脉冲星。其中最著名的是蟹云脉冲星和船帆座脉冲星。

orbit　轨道，任何一个天体，包括天然卫星、人造卫星和行星，在另一个天体的引力场中运动所循的路径。例如，月球沿轨道绕地球运动，地球沿轨道绕太阳运动，以及太阳沿轨道绕银河系中心运动。一个天体在单个质量影响下运动的轨道必然是圆、或椭圆、或抛物线、或双曲线（即'圆锥'曲线族之一）；行星绕太阳运动的轨道是椭圆，太阳位于该椭圆的一个焦点。见开普勒定律。

origin of the elements　元素的起源，见核合成。

origin of the Universe　宇宙的起源，见大爆炸。

Orion molecular cloud　猎户座分子云，正好在猎户座星云后面与它相连的一个主要由氢（也有其他分子，如二氧化碳）构成的稠密云。它是银河系那个区域中很多分子云中的一个，而且很可能是一个恒星育儿室。它含有大约500倍太阳质量，温度高达100K。

Orion nebula　猎户座星云，猎户星座中的一个发光气体云，在猎户佩剑中部，人的肉眼刚刚可见。该星云与一个恒星形成区相连，被它所含的年轻恒星照亮，在天文照片上显得十分壮观。

猎户座星云离我们大约400秒差距（按天文标准几乎就站在我们门前阶石上），是几乎覆盖了猎户座勾画出来的整个天空区域的一个巨分子云的一部分。该星云的一些最稠密部分吸收可见光，只能用红外或射电方法加以探测；这些稠密区包括与恒星诞生有关的热斑。星云中有一些叫做四边形的恒星，其年龄大约只有100万岁，它们在波谱的紫外区发出强烈辐射；正是它们的辐射被星云中的气体吸收后，以可见光的形式再辐射出来，从而使星云明亮。星云的发光部分是一



猎户座星云。又叫做 NGC 1976，是太空中正在产生新恒星的一个巨大气体尘埃云。

个电离氢区。

猎户座星云是一个X射线源，含有一些赫比格－阿罗天体、一个脉泽源和若干金牛座T型星。它的一切活动就发生在我们家门口，所以猎户座星云是研究得最彻底的天体之一。

oscillating universe　振动宇宙，见宇宙模型。

oxygen　氧，宇宙中最普通的原子物质之一——按丰度排在氢和氦之后居第三位。它的原子序数是8，最普通同位素的核含有8个质子和8个中子。在作为主序大质量恒星的能量来源的碳循环中，氧起着重要作用；氧也是生物所需的的关键元素之一（见CHON）。

P

Palomar Observatory 帕洛马天文台，见帕洛马山天文台。

Palomar Sky Survey 帕洛马巡天，1950 年代使用帕洛马山天文台 48 英寸施密特照相机拍摄的一套照相天图，它覆盖了整个北天空和从洛杉矶能看到的一部分南天空。

panspermia hypothesis 胚种广布假说，认为地球上的生物并非起源于地球，而是始于另一颗行星破裂后形成的陨星带到地球上的单细胞微生物的思想。它是瑞典化学家斯凡特·阿伦尼亚斯 1906 年首先提出来的。

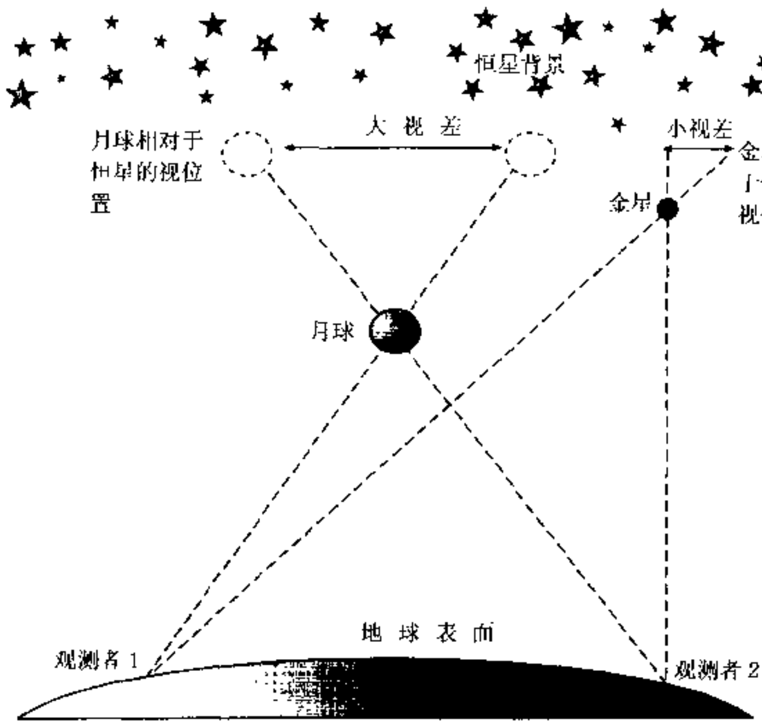
这是一个永远能够激起公众强烈好奇的假说，但天文学家多半对此持怀疑态度。1970 年代，弗雷德·霍伊尔和他的合作者昌德拉·威克拉马辛格用一种很不相同的形式使胚种广布论再度流行；他们提出，生命是在太空分子云中进化而成，并乘坐一颗彗星（或多颗彗星）而非陨星来到地球的。另一种说法是因发现脱氧核糖核酸结构而与詹姆斯·沃森分享诺贝尔奖的弗兰西斯·克里克不久前抛出的，他认为生命起源于宇宙年轻时期银河系某处的一颗行星，那里成功地产生了智能生物，是他们蓄意将微生物散布到了其他行星上。见宇宙中的生命。

parallax 视差，天体从两个不同点观察时在天空显示的视位移。根据三角测量原理可利用视差来计算天体的距离。

视差的工作原理十分简单。伸直你的手臂，竖起一根指头，闭上一只眼睛。然后，将睁开的眼睛闭上，将原来闭上的眼睛睁开。你的指头似乎相对于远方背景向旁边跳去。原则上，你可以测出你的指头跳过的角度，并据此计算出你的手臂有多长，当然这样做的实用价值不大。

然而，对天体，比如太阳系的月球和行星，进行同样性质的测算，则具有极大的实用价值。例如，如果一位观测者看见月球正好在头顶，远方天文台的另一位观测者在同一时刻看见它在地平线上，那么两处观测的月球相对于恒星的视差位移将是 57 角分，这大概是月球角直径的两倍。测量出这个角度和两位观测者之间的距离，就能根据三角形的几何关系直接计算到月球的距离大约是 400,000 公里。

视差原理只能够推广到测量少数近邻恒星的距离，方法是相隔 6



视差。视差工作原理（极度夸张的示意图）。

个月当地球位于它绕太阳的轨道的相对两边时进行观测。这时的基线长度接近3亿公里，约等于地球到太阳的距离的两倍，足以引起少数恒星显示可测量的位移。1830年代，用这个办法测定了天鹅座61的距离，也是首次公布的用视差方法测定的恒星距离，它等于3.4秒差距（实际测量的视差角仅仅0.3角秒左右，由此可见恒星视差的测量是多么困难）。差不多同时，用同样的方法测定了半人马座α和织女星的距离（分别为1.3和8.3秒差距），这就是视差方法提供给天文学家的首批恒星距离的直接测定，也是建立宇宙距离尺度的真正的第一步。

Paris Observatory（Observatoire de Paris） **巴黎天文台**．法国的国家天文研究中心，仍位于1667年创建

时的巴黎原址——是当前仍在运转的最古老的天文台。它在巴黎附近的墨冬设有观测分部，在南塞有射电天文研究基地。

Parkes Observatory　帕凯斯天文台，澳大利亚的国家射电天文台，位于新南威尔士州。主要仪器是1961年建造的一具64米抛物面天线，现在是澳大利亚望远镜的组成部分。

parsec　秒差距，天文学家用于量度距离的单位，等于3.2616光年（3.0857×10^{16}米）。一秒差距就是看到地球和太阳之间的角度等于1角秒时观测者的距离。

participatory universe　参与宇宙①，见惠勒，约翰。

particles　粒子，见基本粒子。

Pauli, Wolfgang　泡利，沃尔夫冈（1900－58），出生在奥地利（1900年4月25日于维也纳）的瑞士物理学家，对量子理论的发展做出了很多贡献，包括泡利不相容原理（这是认识白矮星和中子星性质的关键）；他最先预言了中微子的存在。

Pauli exclusion principle　泡利不相容原理，一个量子体系中的任何两个电子②（或其他费密子）不能处于完全相同量子态这一自然法则的一种表述。

这一原理是1925年沃尔夫冈·泡利在专门解释原子中电子的排列时给予系统陈述的。那时已经清楚知道，元素由轻到重（从最轻的氢开始），其电子在中心核周围的排列是井然有序的。氢只有一个离核很近的电子。氦有两个与核距离相等的电子。锂有三个电子，头两个与核的距离和氦的电子相同（用量子理论的行话说，在同一个‘电子壳层’中），而第三个离核稍微远一些。第一电子壳层只能含两个电子，第二电子壳层最多可含8个（就是含10个电子的氖），对于更重的元素也有类似的限制，它们的电子壳层就像洋葱一样一层一层裹在核的周围。

泡利发现，每个壳层中的电子数与该壳层中单个电子可能具有的量子特性各种不同的组合数准确一致。例如，在最内部的壳层中，两个电子的能量相等，但它们的自旋相反，所以它们（原则上）是彼此可辨别的。对于较外面的电子壳层，量子规则比较复杂，但每个壳层的每个电子有其惟一的一组量子‘标签’。

如果没有不相容原理，所有原

---

① 此名称仅在本条目标题中出现，新版《英汉天文学名词》未收录，学界亦尚无公认标准译名。——译注

② 原文漏掉了‘一个量子体系中的’。——译注

子都将坍缩到大小和氢原子一样，而产生复杂分子，包括生物分子的化学过程也将变得简单得多。更深一层说，正是不相容原理防止了白矮星的坍缩，因为白矮星中的电子不可能被挤压到同一状态（见简并物质）。只有当电子实实在在地与质子结合成中子，恒星才能进一步坍缩而变成中子星，而中子星能维持其本身的存在，也是因为同样的不相容原理防止了所有中子进入相同状态。

但是，泡利不相容原理只有费密子才遵守，而玻色子（如光子）则能够全体拥挤在同一量子状态之下。费密子和玻色子之间的这一重要差别可以比作两类不同的剧场观众。一类是彬彬有礼的歌剧爱好者，他们全体对号入座；另一类是狂烈的摇滚乐迷，他们纷纷离开座位奔向舞台，簇拥在那里展现相同的神态。费密子是歌剧爱好者，玻色子是摇滚乐迷。

补充读物：约翰·格里宾著《薛定谔之猫探秘》[46]。

Payne-Gaposchkin, Cecilia Helena 佩恩-盖珀什金·塞西莉亚·海伦娜 (1900-79)，英国出生（1900年5月10日于白金汉郡的温多华）的美国天文学家，她曾在哈佛和哈罗·沙普利（Harlow Shapley）共事，1956年成为哈佛大学第一位女天文学教授。她的主要兴趣是恒星天文学，在1920年代的观测帮助确定了恒星物质中氢和氦占大多数。

Peebles, (Phillip) James Edwin 皮布尔斯，（菲利普·）詹姆斯·埃德温 (1935-)，出生于加拿大的美国宇宙学家，他特别感兴趣的是大爆炸物理学、宇宙大尺度结构和背景辐射。

皮布尔斯1935年4月25日生于马尼托巴的温尼伯，1958年毕业于马尼托巴大学。然后到普林斯顿大学师从罗伯特·狄克攻读博士学位，1962年顺利毕业。以后一直在普林斯顿大学工作，1965年任该校物理学教授，1985年被聘为爱因斯坦科学教授。他的第一项重要研究是1960年代中期参与狄克小组的背景辐射探测计划，但中途被贝尔实验室的阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊抢了先。接着他对大爆炸产生的氦和氘的数量进行了计算。

皮布尔斯一边继续探讨极早期宇宙的物理性质，一边也研究了星系的分布，以了解宇宙膨胀时不规则性的成长途径。他已经撰写了两本大部头书——1971年的《物理宇宙学》和1980年的《宇宙的大尺度结构》，现在它们已经是宇宙学方面的标准课本。①

① 皮布尔斯1993年又出版了他的另一宏篇巨著《物理宇宙学原理》。——译注

1970年代初，皮布尔斯与杰里迈亚·奥斯特利克（Jeremiah Ostriker）合作，发现我们银河系这样的星系的可见恒星盘极其不稳定，将在比这种盘状星系自转一周更短的时间内解体。他们得出，这样的恒星盘要能够稳定存在我们银河系已知年龄那样长的时间，惟一的途径是每个盘都镶嵌在一个能将盘中恒星维持在其引力作用范围内的暗物质构成的球形晕中。已有的迹象表明，一个典型盘状星系中这种暗物质的总质量大约是明亮恒星的10倍。

1979年，皮布尔斯和狄克把天文界的注意力引向了平坦性问题，即宇宙当前的膨胀速率正好处在允许宇宙永远膨胀下去（开宇宙），或引力终将制止膨胀并使它反转成坍缩直至大崩塌（闭宇宙），这样两种结局之间的分界线上——真是惊人的巧合，它就像一支削得异常尖细的铅笔稳定地直立在尖端上达数百万年之久。正是狄克和皮布尔斯的这项工作使人们注意到这个奇怪的特点，并引导艾伦·古斯提出了暴涨理论。

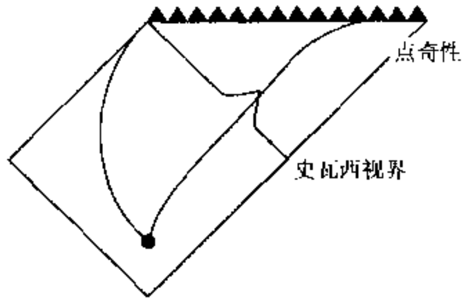
Penrose, Roger　彭洛斯，罗杰（1931－），为发展黑洞理论做出重要贡献的英国数学物理学家。

彭洛斯1931年8月8日生于埃塞克斯郡的科尔切斯特，父亲是杰出的遗传学家利翁内尔·彭洛斯（Lionel Penrose）。罗杰起初就学于伦敦大学预科，1957年获剑桥大学博士学位。他先后在伦敦、剑桥、普林斯顿、锡拉丘兹和得克萨斯等大学谋得短期职务，1966年安定下来担任伦敦的伯克贝克大学预科专门学校的应用数学教授。1973年被聘为牛津大学的劳斯·鲍尔数学教授，一直工作至今。

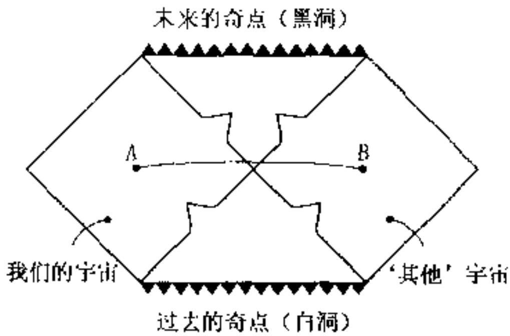
1965年彭洛斯完成了他在黑洞研究方面的第一项重要贡献，他证明，落入一个非自转黑洞的任何东西必将一下子掉进黑洞中心的奇点——它不可能在环绕奇点的轨道上兜圈子运动。后来，他和斯蒂芬·霍金一道，证明物质向这样一个黑洞奇点的坍缩过程正好是宇宙从大爆炸膨胀开来的过程的镜像反转，因而宇宙创始时也必定有过一个奇点。

由于物理定律在奇点处失效，彭洛斯后来提出了宇宙监察概念，说的是每个奇点必然被一个视界所围绕，以致它不能随便地和宇宙相互作用，而物理定律的失效悠然地隐匿在我们的视域以外。但是其他一些人则主张裸奇点可以存在，并且指出宇宙创始时的奇点就代表了这样一种情形。

1960年代末，彭洛斯描述了一种能够从一个自转黑洞（克尔黑洞）提取能量的过程。这种能量提取过程是指一个物体下落到十分接



彭洛斯图。在彭洛斯图中，黑洞外面的整个宇宙用左边的菱形代表；黑洞的内部用右边的倒三角形代表。不存在从黑洞出来的途径。



彭洛斯图。全部方程式实际上说的是,如果另一个完整的宇宙过去确实是一个奇点,那么它可能已经诞生于大爆炸。我们宇宙的观测者和其他宇宙的观测者能在一个黑洞中相遇——但为了从一个宇宙旅行到另一个宇宙(**A** 到 **B**),你必须快于光速进入这个黑洞并重新出来。

近黑洞的轨道，然后分裂为二；它的一部分落进黑洞，另一部分则带着比原始物体更多的能量（包括其质量相当的能量）逃逸。这是导致霍金发现甚至无自转黑洞也能以霍金辐射形式发射能量的若干概念之一。彭洛斯还设计了一种将黑洞内部和周围发生的事件表示成时空图的方法，这些时空图现在被称为彭洛斯图。

彭洛斯也曾试图用他自己的叫做扭转体理论的数学方法将引力和量子理论统一起来。1990年，他的著作《皇帝新脑》尽管有艰深的专业论述和很多公式，却成了最畅销书。在这本书中，他论证说，意识在一定程度上是一种量子现象，任何人工智能永远不可能重复人类意识的事件。他还长期对二维和三维几何学抱有兴趣。1950年代，他和

他的父亲一道，设计了一系列形状，这些形状能表示为二维形式，但无法用三维形式制造出来；其中有些设计曾被荷兰艺术家埃歇尔（M.C.Escher）用于作画。后来（1970年代），彭洛斯提出了一种铺砖法，叫做彭洛斯砖，它仅仅用两种菱形砖完全覆盖一个平面，既不留下空隙，也不会出现规律重复的图样。后来发现，这种铺砖法对认识晶体的性质有重要启示。

Penrose diagram **彭洛斯图**，罗杰·彭洛斯根据闵可夫斯基图发展而成的一种时空图，它特别有助于研究黑洞内部发生的事件。

和标准的闵可夫斯基图一样，时间用'朝向纸面上方'代表，空间用'横过纸面'代表，光线径迹用与垂直方向成45°的线代表。但在彭洛斯图中，遥远的空间区和时间区全都画成闵可夫斯基图上的单一菱形，使得宇宙过去和未来的全部历史可以显示在一张纸上。这纯粹是一种数学手法，与将地球的球形表面通过比如墨卡托投影画在一张展平的纸上的办法相仿。虽然这种方法肯定会使画面产生一定程度的失真（例如，画出来的黑洞内部的时空区在图中的面积达到了整个外部宇宙的一半），但彭洛斯图准确表达了不同时空区是如何彼此联系的，以及从任一选定的点可以到达哪些时空区而不必旅行得比光速更快。（见319页的图。）

彭洛斯图可以用来演示时空如何在自转的或带电的黑洞区中发生畸变，并能生动表明为什么原则上可能通过虫洞进入其他的宇宙，为什么有可能经历时间旅行，以及为什么宇宙中可能存在白洞。

Penzias, Arno Allan **彭齐亚斯，阿尔诺·艾伦**（1933－），德国出生的美国射电天文学家，是背景辐射的偶然发现者之一（另一人是罗伯特·威尔逊）。

彭齐亚斯1933年4月26日生于慕尼黑，但孩提时代即随家人迁往美国，他们是逃出纳粹德国的犹太难民，是在1939年战争爆发前出逃（一开始是到英国）的最后一批家庭之一。他就读于纽约市高等专科学校，1954年毕业于物理系。在陆军通讯兵团服役两年后，进入纽约的哥伦比亚大学，1958年获该校硕士学位，1962年获博士学位。被授予博士学位的前一年，彭齐亚斯在坐落于新泽西州霍姆代尔附近克劳福德山的贝尔电话公司无线电研究实验室谋得一份职务。他留在了该公司，一直擢升到研究及通讯科学部的执行经理，后又升为主管研究的副总经理。与此同时，他还兼任了普林斯顿大学、哈佛大学天文台、纽约州立大学和新泽西州立特伦顿高等专科学校的一系列职务。他的大部分工作是研制用于

射电天文研究和卫星通讯的仪器，旁及如大气物理学等其他领域。但使他成名并荣获诺贝尔奖（1978年）的，则是他的第一项重要的科学研究。

在克劳福德山，彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊分担贝尔实验室提供的同一个射电天文职务，他们各自分一半时间于其他项目。他们有幸使用为早期通讯卫星设计的一具天线，发现了一种宇宙无线电噪声源，他们无法解释，而不远处普林斯顿大学的罗伯特·狄克和他的同事们则解释说，那就是大爆炸的回响。

补充读物：杰里米·伯恩斯坦著《零上三度》[10]。

perfect cosmological principle　完全宇宙学原理，见宇宙学原理。

perihelion　近日点，行星或其他天体的轨道上离太阳最近的点。地球经过近日点是在1月3日。

period-luminosity relation　周光关系，亨丽爱塔·斯璇·莉维特最先发现的造父变星的周期和绝对星等之间的关系。周光关系实际上有两个，一个适用于星族Ⅰ造父变星（又称为经典造父变星），另一个适用于星族Ⅱ造父变星（又称为室女座W型星）。另见宇宙距离尺度。

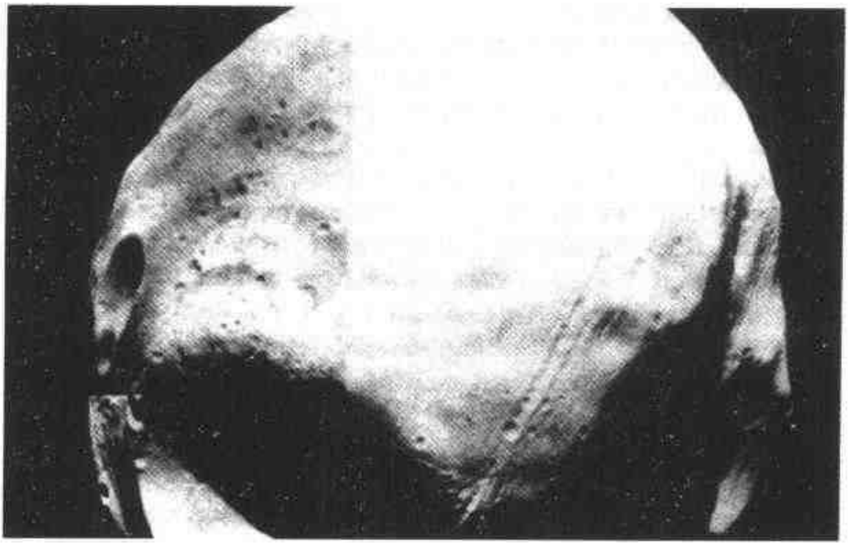
phase transition　相变，物理体系在温度不变的情况下从一种状态到另一种状态的转变。例如，冰在0℃转变成液态水，水在100℃转变成水汽。冰、液态水和水汽是同一种化学物质（都由H_2O分子构成）的三种不同的相。

在极早期宇宙中，从夸克自由游荡的状态转变到夸克被牢牢束缚在强子（如质子和中子）内部的状态就是一种相变（见夸克－强子相变）。在某种意义上，强子是'冻结的'夸克，可以比作液态夸克结成的冰。在更早时期，还发生过与大统一理论预言的单一原始力分解成各种基本力有关的相变。

当水汽凝结成液态水，或液态水冻结成冰时，将有潜热形式的能量释放出来，因为将要变成的状态比转变前的状态储存的能量少。类似地，极早期宇宙中的相变提供了能量，使得大爆炸火球在大爆炸核合成期间具有极高的温度，并最终以背景辐射的形式留下了它的踪迹。

这种相变也能在时空中造成缺陷，就像冰块在冻结过程中产生裂纹。单极子和宇宙弦大概就是这样的缺陷，它们可能仍然存在于宇宙中，而且，可以想像，也许是它们提供了已经发育成为星系团的种子。曾经发动了暴涨的标量场也和这些相变有关，但它们早已消失得无影无踪了。

Phobos　火卫一，1877年阿萨夫·霍尔（Asaph Hall）发现的火星的两



火卫一。火星的两颗卫星中的较大者，这是近距离拍摄的火卫一照片。

颗卫星中靠里边的那一颗。火卫一是一颗形状不规则的天体，大致是27公里长、21公里宽、19公里高。它在9,380公里距离上每0.319天绕火星运行一周，这比火星自转速率快，所以火星上的观测者看见他们的月亮西升东落。与火卫二一样，火卫一也可能是一颗被俘获的小行星。

photoelectric effect　光电效应，射到金属表面上的光产生电流的过程。当光强度很低时，这一过程可以描述为个别光子撞击金属表面的个别原子并放出个别电子。光电效应并不局限于金属，其他物质也有。

1905年阿尔伯特·爱因斯坦对光电效应做出上述解释时，提出了光可以描述成类似粒子的量子（也就是现在所称的光子）这一在当时可视为革命性的观点（以前把光看成纯粹的电磁波）。这是量子理论发展中关键的一步。爱因斯坦后来被授予诺贝尔奖，正是由于他对光电效应的解释，而不是他的两套相对论。

光电效应对天文研究十分重要，因为它使天文学家得以用电荷耦合器件或其他类似探测器监测来自暗弱天体的单个的光子。

photographic magnitude　照相星等，

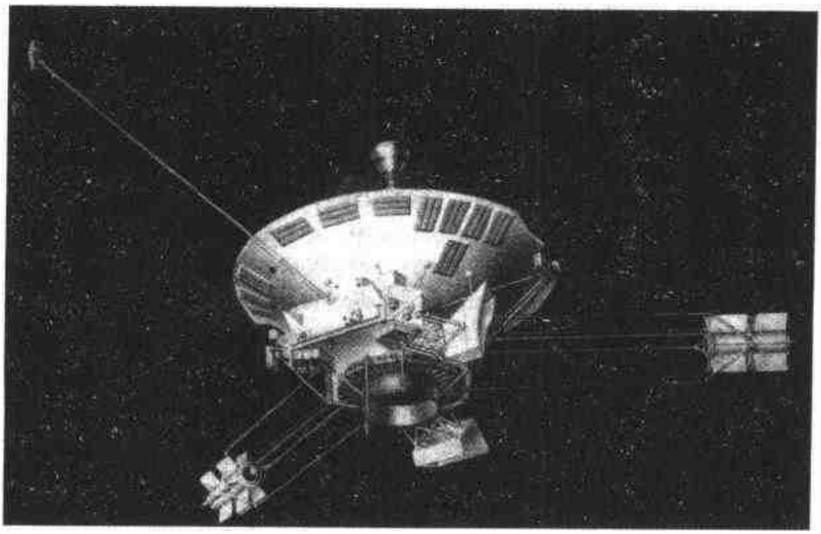
用一般照相感光乳剂测量的天体的星等，这种乳剂对光谱的蓝区和紫外区的灵敏度高于人眼。

photon 光子，电磁辐射的量子单元，可以看成是光的粒子。光子没有静止质量，无电荷，在真空中永远以光速运动；它们是玻色子，是带电的或磁化的物体之间电磁力（见基本力）的携带者。

Pickering, Edward Charles 皮克林，爱德华·查尔斯（1846－1919），美国天文学家，1846年7月19日生于波士顿。他从1876年到1918年担任哈佛大学天文台的台长，支配了19世纪最后25年的美国天文学，曾鼓励很多年轻科学家从事天文研究，其中有很多是女性（这在当时是难得的）。他花费大量精力编制天体表，最先提出用色指数方法进行恒星分类。

Pioneer spaceprobes 先驱者空间探测器，美国宇航局发射的不载人太空飞行器系列，用于太阳系内的各类研究，包括太阳和月球的观测，多次定点飞越木星，以及绕金星的飞行考察和金星着陆考察等。

pixel 像素，从‘图像要素’一词发明的新词，指的是用诸如电荷耦合器件等探测器获得的数字图像中的个别‘斑点’。像素是图像中能够



先驱者空间探测器。完全相同的先驱者10号和先驱者11号空间飞行器主要部件示意图。同各种仪器部件相比，巨大的抛物面天线显得格外突出。

记录亮度变化的最小单元。

Planck, Max Ernst Karl Ludwig 普朗克，马克斯·恩斯特·卡尔·路德维格（1858－1947），德国物理学家，1858年4月23日生于基尔。他在1900年提出，电磁辐射只能以确定的单位被发射或吸收，他把这种单位称为量子。这不但解释了黑体的辐射本质，而且奠定了量子理论的基础，普朗克也因这一工作于1918年获得诺贝尔奖。但是，在现代，最先指出包括光在内的电磁辐射确实可看成由个别粒子，即光子构成的，却并不是普朗克，而是阿尔伯特·爱因斯坦（见光电效应）。

Planck density 普朗克密度，1普朗克质量占据跨度1普朗克长度的体积时的物质密度。这对应着普朗克时代的密度，实际上就是宇宙创生时所处的状态。普朗克密度等于10^{94}克每立方厘米。

Planck era 普朗克时代，宇宙创生时奇点的1普朗克时间内，整个宇宙处在普朗克密度下的一段时期。

Planck length 普朗克长度，经典的引力和时空概念开始失效、量子效应起支配作用的长度标度。它是'长度的量子'，即仍然有意义的最小可测长度。普朗克长度由引力常数、光速和普朗克常数的相对数值决定，它大致等于10^{-33}厘米，是一个质子大小的10^{20}分之一。

Planck mass 普朗克质量，按照量子理论，等效波长等于1普朗克长度的一种假想粒子的质量，它大约等于10^{-5}克。如果不和质子质量进行比较，你会觉得普朗克质量很小，可它实际上是质子质量的10^{19}倍，高达地球上粒子加速器通常达到的能量的10^{16}倍。这意味着，要实现宇宙创生时存在过的那些条件，粒子加速器的威力必须提高1亿亿倍。

Planck particle 普朗克粒子，大小与1普朗克长度相当、质量为1普朗克质量、密度等于普朗克密度的假想粒子。我们已知的宇宙可能就是从这样一个粒子起源的。见暴涨。

Planck's constant 普朗克常数，将光子的能量和它的频率联系起来——即将量子实体的粒子性与它的波动性联系起来的一个基本常数，用符号h代表。h的数值是6.626×10^{-34}焦耳·秒。普朗克常数出现在量子理论的很多公式（例如魏纳·海森伯发现的测不准原理的表达式）中。

Planck time 普朗克时间，以数倍于10^{10}厘米每秒的速率传播的光通过一个等于普朗克长度的距离所需要的时间。它是'时间的量子'，即仍然有意义的最小可测时间，等于10^{-43}秒。比这更短的时间没有任何意义，所以，在我们今天理解的物理定律框架内，我们只能认为，宇宙创生时，它的年龄就已经是

10^{-43}秒，而它的密度等于普朗克密度。

planet **行星**，在轨道上围绕一颗恒星运动、其自身质量不足以使它成为恒星、仅仅通过反射光而能被看见的天体。这就规定了一颗行星的质量上限大约是太阳质量的1/20，或我们太阳系最大行星——木星质量的50倍。在行星的上述可能质量范围的上端，已经有几颗'超木星'通过对它们绕之公转的恒星运动的引力影响而被发现。不过行星的研究基本上仍然局限于我们太阳系的行星。

在质量范围的下端，很难确定行星的定义应该在何处结束。例如，火星和木星轨道之间的一条带中就有数千颗小行星绕着太阳运动。但传统上行星一词专指太阳系的九个大天体（太阳除外）——水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。甚至这个标准定义也并非没有争议，因为相比之下冥王星太小而且轨道特殊，十分可能是一个逃跑的卫星或反常大的小行星（它的直径仅仅是最大的小行星谷神星的两倍多，还不到水星的一半；而水星的半径为2,439公里，是其他8颗行星中最小的）。

行星比较容易和太阳系的另一类主要天体——彗星区别开来。彗星是寿命较短的天体，基本上由冰构成，它们的核的直径只有几公里。

planetary nebula **行星状星云**，与一颗恒星联系在一起（围绕着恒星）、用望远镜看或在天文照片上显示为圆面（和行星的形状相似，因而得名）的星云。这个名称是威廉·赫歇尔在1785年最先使用的。

行星状星云的发光，是与它联系在一起的恒星的光（尤其是紫外辐射）被星云中的原子吸收后再辐射的结果。行星状星云徒有其名，因为全部已知行星状星云（已经编目的大约1,500个，但估计银河系中的行星状星云比这多10倍）中，仅仅几十个果真具有圆面形状。其他的或呈现为一个环，或双瓣'哑铃'形，或甚至更复杂的结构。

典型行星状星云的温度约开氏12,000度，所含质量大约是太阳的20%，从中央星向外膨胀的速率约20公里每秒。大多数膨胀速率是用多普勒效应测定的。但有一个近邻行星状星云的扩展速率是直接测量的，它等于0.068角秒每年，这相当于测量3公里外每年长粗1毫米的一棵树的角直径的增加。

行星状星云中央的恒星是蓝色热星，它们比普通主序恒星暗，是正在向太空喷射物质（给星际物质添加重元素）的年龄较老的恒星，但已经开始平静下来即将变成白矮星，也就是失去了外层的红巨星的

核心部分。按照这一图像，可见的星云不过是大得多的膨胀物质云的里边部分，其靠外边的大部分是看不见的，因为离中央星太远，紫外辐射已无法使它的原子发光。

原来的红巨星最初可能拥有多达8倍太阳质量，而留下来的白矮星的质量只可能稍多于太阳。行星状星云是昙花一现的现象，大概只能存在50,000年左右，它们对应着红巨星到白矮星的过渡阶段。

planet formation 行星形成，行星被认为是和它们的母恒星一起由太空气体尘埃云坍缩而成的。像太阳系这样的体系形成于一个大到足可碎裂成几百颗类似太阳的恒星的云之中，这些恒星开始时组成一个疏散星团，但现在已经散开，各自独立地在银河系中遨游。一颗恒星形成时，坍缩云碎块中心处的热气体球周围尚有少量多余物质，这些物质沉降为一个环绕年轻恒星的盘，并最后形成了行星。

过去常常说，这样一个模型不能回答如何摆脱坍缩云角动量这一困难问题。当云独自收缩时，它的自转变快，就像旋转着的溜冰者缩回手臂时一样。有些计算似乎表明，要收缩到太阳的大小，原恒星最终的自转将加快到接近光速，这是不可能的。但是，由于一个坍缩云形成的恒星如此之多，它们的自转可以多种多样（有些'顺时针'，有些'逆时针'），从而分享了原来的总角动量。此外，在1950年代，弗雷德·霍伊尔证明，年轻恒星的磁场引起的一些过程能够将角动量带走。行星形成的上述标准模型的决定性证据来自对年轻恒星的研究，因为发现年轻恒星周围确实存在模型所要求的那类尘埃盘。

在尘埃盘最靠近年轻恒星的区域中，最轻的元素（氢和氦）大部分被恒星的热量赶走了，剩下来的物质是尘埃颗粒，它们粘到一起，聚集成可以通过引力互相吸引的大球，最终形成了类似地球的行星。而在尘埃盘的较外区域，仍然有大量氢和氦，便形成了土星和木星这样的巨行星。

少数人，尤其是威廉·麦克雷认为，原行星和类似彗星的天体甚至在恒星形成之前就已经在星际云中形成了，这些天体在恒星形成时被它们俘获，使得很多小而冷的天体集合到围绕年轻恒星的轨道上，它们碰撞并粘结起来，形成了我们今天看见的太阳系的行星。这幅图景的极端说法更是认为，恒星本身就是由这些较小天体集合而成的。以上两种看法都让行星起跑在先，都给年轻恒星准备好了已经制造成功的原行星扈从队，而不必用细微尘粒从头开始制造它们。

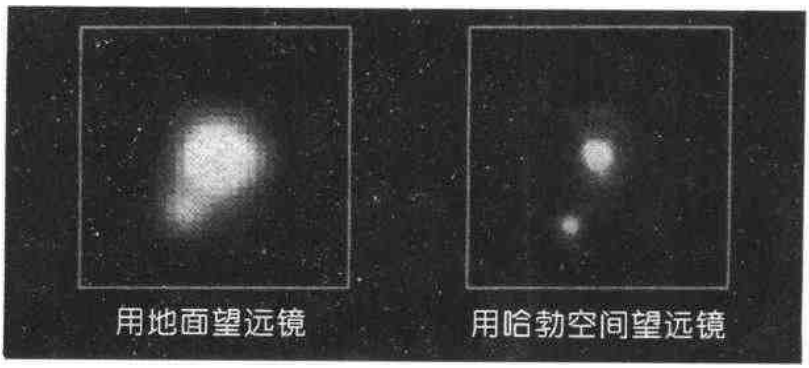
Planet X X行星，这个名称最初是珀西瓦·洛韦尔（Percival Lowell）

赋予他预期存在于海王星轨道以外的一颗行星。洛韦尔一生寻找这颗行星的大量努力均告失败。1930年冥王星的发现并没有中止对X行星的搜寻，因为冥王星太小，不可能是洛韦尔寻觅的对象。X行星的存在是根据外行星的观测轨道中出现矛盾提出来的，因为当时人们认为这些矛盾可用另一颗行星的引力影响来解释。但是，通过对外行星轨道的长期观测（请记住，海王星1846年才发现，它绕太阳运行一周需要164年，所以我们还未能看到它在轨道上走完一圈），现在可以说并不存在什么矛盾，X行星不存在。

plasma 等离子体，物质的一种高温状态，其中原子的电子已经被剥离，而留下来的带正电的离子又与电子自由混合在一起。恒星内部的全部物质就是处在等离子体状态。

Plato 柏拉图（约公元前427－347），希腊哲学家，他的很多思想都以完美性概念为基础，认为地球必定是一个完美的球，宇宙中的其他一切物体都在完美的圆周上围绕地球运动。他的影响一直延续到19个世纪以后，尼古拉·哥白尼的工作把天文学家推到正确道路上为止。不过，柏拉图至少确曾教导说，天文学是教育的一个基础部分。

Pluto 冥王星，太阳系中已经发现的第九颗行星。冥王星一般情况下离太阳最远，但它的椭圆轨道有时将它带到了海王星轨道以内，比如1979～1999年间就是这样。冥王星是美国天文学家克莱德·汤博（Clyde Tombaugh，1906－97）于1930年发现的。它到太阳的平均距离是39.44天文单位，但其轨道不同部分的距离变化于30到50AU之间，在远日点时，太阳的光要经过近7



用地面望远镜和用哈勃空间望远镜观测到的冥王星和它的月亮冥王卫一。

小时才能抵达冥王星；它和它的月亮——冥王卫一相距仅 19,500 公里，冥王星和冥王卫一合在一起的平均密度是 1.88 克每立方厘米，不到水密度的两倍。

根据 1994 年用哈勃空间望远镜进行的观测，冥王星的直径仅仅 2,320 公里（是我们月球的 2/3），质量是地球的 0.3%，它表面的温度只有开氏 50 度；绕太阳公转一周需时 248 年——在引力支配下，冥王星每公转 2 周，海王星要公转 3 周。

Pogson scale　波格森标度，见星等标。

Pond, John　庞特，约翰（1767－1836），1811 年接替内维尔·马斯基林的第六任皇家天文官，1835 年因健康不佳离任。他对格林尼治皇家天文台所用的仪器设备和观测方法都做了很多急需的改进，1833 年他开始实行每天下午 1 点正降下天文台最高处一根杆子上的'报时球'——这是最早的公众报时信号。

Population I　星族 I，主要指我们银河系平面、特别是旋臂中的年轻恒星。这些恒星的分布清楚勾勒出代表星族 I 的明亮蓝色热星显示的图样，但包括太阳在内的较冷恒星也是星族 I 的一部分。星族 I 这个词是瓦尔特·巴德在 1944 年首先采用的；后来引申到也指其他星系中类似的恒星。

星族 I 的恒星含有较丰富的重元素，因为产生它们的气体尘埃云已经添加了前几代恒星的核合成加工出来的物质。这些原恒星云中重元素的存在以及其他一些条件，提供了形成行星的原材料，所以预期行星系（如我们的太阳系）只能产生于星族 I 的恒星周围。

星族 I 恒星基本上都是热的主序星，它们常常出现在疏散星团或其他松散星群内，而且往往和星际物质联系在一起。

Population II　星族 II，指老年红色恒星，它们主要出现在我们银河系的晕，尤其是球状星团、银河系中心附近以及旋臂定义的平面两边厚得多的一层内。这一名称已经引申到也指其他星系中类似的恒星；椭圆星系主要由星族 II 恒星组成。星族 II 这个词也是瓦尔特·巴德在 1944 年首先采用的。

星族 II 恒星的重元素含量较少，因为它们是在很久以前的宇宙年轻时期，原始氢和氦尚未被核合成加工成重元素时形成的。星族 II 恒星极其不可能有与它伴生的行星，因为行星是由重元素构成的。与星族 I 的这种区分只是天文学上方便，其实从一个极端到另一个极端，恒星的性质是连续逐步变化的。

Population III　星族 III，可能存在于

星系形成以前的一代假想的特大质量恒星。星族 III 的存在看来是必然的，因为今天所见的甚至最年老星族 II 恒星也含有一点只可能是产生于前一代恒星中的重元素（见核合成）。星族 III 恒星一定拥有很大质量，很快度过它们的一生并爆发，将极少量金属散布到后来形成星系的物质中去。它们可能留下了恒星质量黑洞形式的残骸。

positron **正电子**，与电子对应的带正电荷的反物质。

potential energy **势能**，物体因其所处的位置——比方说在引力场中——而拥有的能量。高楼顶上物体的引力势能，比它在楼底街面上时大。如果将它推向楼外，它的引力势能首先转变为该物体加速下落的动能，而当物体撞击地面时，动能再转变为热能。势能来自你将物体从街面带到楼顶所必须做的功。势能总是需要相对于某个标准状态进行量度，在本例中是相对于街面——尽管一个特定的场中可能存在不可能再低的最小势能。

电荷和磁场也有与它们相关的势能。压缩的弹簧储存着势能，弹簧松开时势能即被释放；这是电势能的一个例子，因为弹簧原子间的作用力是电力。电池储存的势能是化学能（同样，这实际上也是一种电能，它对应着电池内部原子和分子中电子的排列），当电池的两极用导体连接起来时，储存的化学能就以电流的形式释放出来。

在极早期宇宙中，与发动暴涨的标量场相关联的势，提供了基本力从大统一理论要求的原始单一力分解出来时发生相变所需要的能量。引力势能的奇特性质之一是，与储存在质量（质量本身可以看成势能的一种形式，因为 $E = mc^2$）中的能量相比，势能永远是负的。这是因为在引力场（如地球的引力场）中，要把物质向外（向上）移动，则必须输入能量。一团彼此相距无穷远的粒子构成的云向中心点坠落而形成一个质量 m 的过程中，它开始时的能量是零，坠落时释放出的能量正好等于 mc^2，所以最后拥有的能量为负 mc^2。由此得出一个极为诱人的可能性，即宇宙可能是在时空的某点处、从完全空无一物之中创生的（见免费午餐宇宙）。

precession of Mercury **水星进动**，见近日点进动。

precession of the equinoxes **分点岁差**，地球在空间运动时的进动（摆动）引起二分点在天空中向西的缓慢漂移，常常简称为岁差。二分点在天空移动一整周大约需要 25,800 年。因此，从二分点起算的坐标，如赤经，必须说明是特指哪一年的；当前的坐标标准定为 2000 年开始时刻的位置。

pressure **压力**，压缩流体（气体或

液体）施加的‘推力’的大小。压力用流体施加在单位面积上的力来量度，1帕斯卡（帕或 Pa）的压力等于1牛顿每平方米的力，它大致相当于一层奶油的重量加在面包片上的‘推力’。海平面上的平均大气压力等于 101,325Pa。

primeval fireball **原始火球**，极早时期由辐射起支配作用的宇宙的状态。见大爆炸、辐射时代。

primordial atom **原始原子**，见勒梅特，乔治。

primordial black hole **原始黑洞**，见微黑洞。

principle of terrestrial mediocrity **地球平凡原理**，见宇宙学原理。

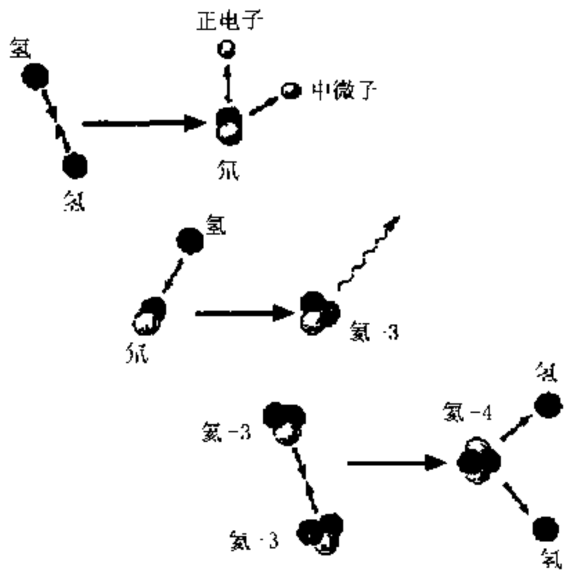
proper motion **自行**，恒星每年横过天空的视角位移。在银河系数以千亿计的恒星中，只有极少数离我们足够近，使得它们的自行可以测出，但伊巴谷卫星以 0.002 角秒的精度测量了超过 100,000 颗恒星的方位（也不过占银河系恒星总数的百万分之一），这就有可能测量等于或大于 0.002 角秒每年的大量恒星的自行。很需要发射第二颗卫星进行几年的类似巡天，以便把这些自行全部精密地加以测定。

最早领悟到恒星在天空中运动而并非真正‘固定’的是埃德蒙·哈雷，他在 1718 年注意到希腊天文学家伊巴谷和托勒密记录在古天体表中的三颗亮星，不在他们预言应该出现的位置。由于古天体表中另外几百颗恒星都在‘正确’位置，所以哈雷推测这不是古希腊天文学家的几处错误，而是这三颗恒星——天狼、南河三、大角——从古代以来已经在天空中移动了（大角移动了整整一度，等于从地球看到的月球角直径的两倍）。这些星属于天空八颗最亮恒星之列绝非偶然；它们看起来很亮，是因为它们很近，也因此它们在几百年的时间内清楚显示了它们在空间的运动。

观测到的最大自行是巴纳德星的 10.3 角秒每年，这刚刚超过地球上所见月球角直径的 0.5%。人类肉眼可见的全部恒星的平均自行大约是 0.1 角秒每年。

proper time **原时**，用和观测者在同一个参考系中的钟测量的时间，亦称固有时。不同参考系中的钟（或是相对于观测者运动，或是在另一个引力场中）将测出不同的时间流。它们全都同样‘正确’，但你用的原时是你的参考系中的时间。见狭义相对论。

protogalaxy **原星系**，正在坍缩成为星系的过程中的巨大气体云。大致符合这一定义的天体已在我们所见的宇宙中看到，但还无法肯定其中任何一个是否是正在形成中的星系。现有的星系应该是从具有极高红移的原星系演变而成。



质子－质子链。① 类似太阳的恒星内部产生能量的核反应链。

proton 质子，构成原子的粒子中的一种。质子是英国物理学家约瑟夫·约翰·汤姆孙在20世纪初发现的第二种原子粒子（汤姆孙也是电子的发现者），是重子族的成员。质子带有1单位正电荷（与带1单位负电荷的电子所用的尺度一样），其质量差不多等于10亿电子伏（准确值是9.39亿电子伏，相当于1.6726×10^{-24}克），是电子质量的1,836倍。

proton-proton reaction (p-p chain) **质子－质子反应（质子－质子链）**，太阳这类恒星内部产生能量的一系列核聚变反应。

对这个过程的现代理解全靠各种聚变反应速率（即反应的截面）的测量（用地球上的粒子加速器）和太阳内部条件（尤其是根据太阳光度、半径和质量的观测得出的太阳核心温度和压力）的模型两者的结合。质子－质子链作为太阳能源是汉斯·贝特和他的同事查尔斯·克里奇菲尔德（Charles Critchfield）在1938年提出的，但直到1950年代才被确定为最佳模型，部分原因是1930和1940年代还没有完全认识

① 本图只画出了质子－质子链的主要序列，省略了几个涉及锂－7、铍－7、铍－8和硼－8的旁支。见太阳中微子问题条目的有关论述。——译注

到太阳物质的95%以上不过是氢和氦而已。

质子-质子链开始于两个质子（氢核）靠得足够近并通过隧道效应聚合在一起。它们形成一个氘，其中一个质子放出一个中微子和一个正电子而变成一个中子。这时，另一个质子可以通过隧道进入这个氘核，形成一个含两个质子和一个中子的氦-3核。最后，两个氦-3核碰撞而形成一个氦-4核（两个质子加两个中子），同时放出两个多余的质子。大约95%的氦-3核以此为归宿；其余的则卷入一些更复杂但对太阳能量贡献不大的反应，不过后者却与太阳中微子问题有关。

如果太阳物质成分的70%是氢，28%是氦，2%是重元素，又如果太阳具有观测到的那些物理性质，其中心温度大约是开氏1,500万度，那么一切都恰到好处。每当4个质子结合成一个氦-4核，它们质量的仅仅0.7%将转变成能量释放出去。虽然太阳内部每100万亿亿（10^{22}）个质子中才发生一次质子之间的碰撞，但那里的质子极多（因而碰撞也很多），使得每秒钟总共有500万吨质量转变为纯粹的能量。迄今，太阳内部的质子-质子反应已经持续了45亿年左右，它以这种方式'失去'的质量大约是其原始氢核储备的4%。

质子-质子反应是质量和太阳相近或更小的主序恒星的主要能源，质量更大的主序星的能源则主要是碳循环。

protoplanet **原行星**，恒星周围的物质盘，其中正进行着通过吸积盘中物质形成行星的过程。IRAS的红外观测已在近50颗恒星周围找到了原行星系存在的证据，而金牛座T型星的原行星系的共同特征是有着尘埃'蚕壳'。

protostar **原恒星**，气体分子云中已经形成团块并正在坍缩成恒星、但核反应尚未开始的部分。我们银河系中可以辨认出很多原恒星（利用它们的红外辐射特别有效）。

Proxima Centauri **半人马座比邻星**，离太阳最近的已知恒星，目前的距离是1.295秒差距。半人马座比邻星是一颗黯淡的矮星，它的质量只有太阳的1/10。半人马座比邻星几乎可以肯定和半人马座α有物理上的联系，前者在极大距离上绕后者（本身是双星）运动。

Ptolemaic system **托勒密体系**，见托勒密。

Ptolemy **托勒密**（约公元100－170），希腊天文学家，著有《天文学大成》13卷，阐释了当时认识的宇宙。托勒密使用真正的科学方法，提出本轮概念，在地心宇宙构架下，来说明观测到的天体运动。托勒密体系居于统治地位长达

1,000 多年。

pulsar 脉冲星，发射射电波束的快速自转中子星，其射电波束时隐时现，好像来自迅速旋转的无线电'灯塔'的信号束，这在地球上的射电望远镜中引起节奏准确的脉冲式射电噪声。'脉冲星'一词是'脉冲射电源'（英文是'pulsating radio source'）的简化，是模仿'类星体'（英文是'quasar'）而杜撰的。

第一批脉冲星是乔丝琳·贝尔-伯内耳在1967年发现的。贝尔当时是剑桥大学的射电天文学家，在安东尼·休伊什指导下工作。她使用专为搜寻类星体射电'亮度'快速变化（与星光闪烁相当的射电现象）而建造的射电望远镜，（十分意外地）发现了一类以往一无所知的高速变化的射电源。

首批发现的脉冲星射电波时隐时现的快速变化，说明它们必然来自一个很小的源。一颗恒星的辐射要'齐步'运动，仅当某个以等于（或低于）光的速率传播的信号传遍整个恒星去触发辐射的爆发才有可能。所以这种爆发必定来自一个比光在一次爆发的时间内穿越的距离更小的源，否则辐射将混淆而模糊不清（有点像宇宙学中的视界问题）。这就使剑桥的研究小组立刻明白他们发现的天体要比主序星小得多，甚至可能不大于地球这样的行星。再加上脉冲时间的极高精密度，促使这些射电天文学家严肃考虑他们已经探测到了地外文明世界的信号这一可能性；但不久，更多脉冲星的发现却表明，信号不是来自地外文明，而肯定是自然现象。

如果脉冲星是一类以前不知的恒星，那么它们的矮身材就意味着，它们要么是白矮星（质量与太阳相当，但被塞在一个和地球一样大的球内），要么是中子星（质量与太阳相当，但全部挤压在一个直径不到10公里的球内）。1967年，人们还从未找到过中子星存在的直接证据，所以把中子星看成假说性的猜想。但白矮星已经用光学天文方法观测到了，所以首先想到的是，脉冲星也许是脉动的白矮星，就像小型的造父变星。

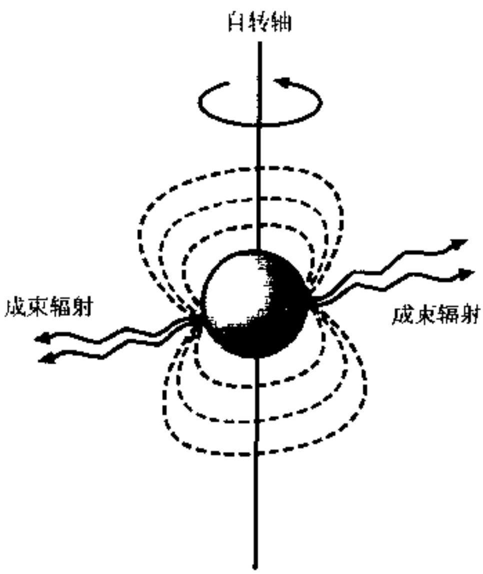
不久，剑桥大学的两位理论家约翰·格里宾（John Gribbin）和约翰·斯吉林（John Skilling）彼此独立地证明，白矮星的振动只能够解释最早发现的几个脉冲星的周期，它们不可能远为快速地振动而又不破裂。果然，远为快速的脉冲星相继被发现，说明它们根本不可能是白矮星，而肯定是中子星。正是脉冲星的发现和它们被证明不可能是白矮星，才使天文学家相信中子星确实存在，并促使他们认真考虑甚至更极端的坍缩物质形态——黑洞的概念。

一旦明白了脉冲星肯定是中子星，‘灯塔’模型就在天文学家中间迅速流传开来。事后我们才看到，关于这些天体的预言是相当准确的。1968年以前，只有极少数几位天文学家认真对待中子星概念，其中之一就是弗里茨·兹威基，他在1930年代曾经（在一篇和瓦尔特·巴德联名发表的论文中）指出，超新星爆发可能会留下一颗中子星。巴德后来也指出，如果兹威基的观点正确，那么寻找中子星的最佳地点将是蟹状星云，即1054年从地球上观测到的超新星遗留下来的碎片构成的膨胀云。他甚至具体指认了蟹状星云中的一颗恒星，认为它可能就是那次爆发留下的中子星。

很多年过去了，几乎无人认真对待这一思想，但在1967年，就在宣布发现脉冲星之前不久，佛朗哥·帕西尼发表一篇论文指出，如果一颗普通恒星真的坍缩而形成中子星，坍缩将使恒星的自转加快（就像旋转的溜冰人缩回手臂时那样），而且，它收缩时不但把物质挤压进较小的体积，还会增强恒星的磁场。帕西尼说，这样一个自转的磁偶极子将倾泻出大量电磁辐射，而这一能源可以说明，蟹状星云中心部分现在显示的各种细致结构物，乃是超新星本身爆发1,000年后的今天，从爆发地点仍在向外喷射物质所致。

如果帕西尼的论文发表之际没有偶然发现脉冲星，那很可能会径直去研究蟹状星云，从而导致该星云中脉冲星的发现（它果然就是巴德指认的那颗星）。但是，关于脉冲星的射电噪声脉冲是快速自转中子星的辐射束像灯塔信号那样扫过我们时所产生的明确思想，则是汤米·戈德于1968年最先发表，这就是我们所说的帕西尼－戈德模型。1969年初蟹云脉冲星的发现，排除了对这一模型的任何合理的怀疑；现在普遍认为，观测到的脉冲星辐射乃是自转中子星极强磁场（约10^8特斯拉，大致是地球表面磁场强度的10亿倍）中运动的电子发出的同步加速辐射，它使得生机勃勃的年轻脉冲星（比如蟹云脉冲星）除了发出射电波外，也表现为X射线源和γ射线源。在一些双星系统中发现了一类独特的脉冲星，叫做X射线脉冲星，它们的动力来自伴星物质通过吸积盘下落产生的能量。

目前已知的脉冲星超过650颗，大多数脉冲星的周期为1秒左右；最慢的一颗周期接近4秒，而已知最快的每1.6毫秒就隐现一次。总的说来，脉冲星的快慢是它们年龄的一种量度——就像我们大多数人，年纪越大，行动越迟缓。例如，蟹云脉冲星每天变慢百万分



脉冲星的标准模型。当中子星自转时，从强磁场〔虚线表示〕的两极射出的成束电磁辐射就像一座宇宙灯塔的信号。

之一；但和其他年轻脉冲星一样，这种稳定的变慢有时会被自转突变所打破，这是因为星体表面破裂后进行调整以适应新的结构。然而，双星系统中的脉冲星在某些情况下会通过吸积伴星物质而提高自转速率。已知脉冲星的距离已经达到了50千秒差距，它们多半集中在银河系盘内，而这正是超新星出现最多的地方。但是，只有很少的脉冲星在超新星遗迹中，这可能是因为它们往往要在超新星碎片消散之后才'启动'，也可能是因为它们往往被超新星爆发推出去，现在已经远离了它们产生的地点。不管是什么原因，我们总算十分幸运在蟹状星云中找到了一颗脉冲星。但根据已经发现的脉冲星数目，以及从理论模型计算的脉冲星寿命，估计银河系中每20年左右就应该形成一颗脉冲星，这与超新星出现频度的估计极为符合，因而可以认为差不多每次超新星事件都确实留下了一颗中子星。许多脉冲星有很高的速度（平均为450公里每秒），使它们能跑到远离银河系平面的地方(有些甚至可以完全脱离银河系)。这可以说明为什么它们往往不在超新星遗迹近旁——它们大概是在超新星爆发的某种不对称性的推动下向外太空猛烈飞驰而去。

根据脉冲星辐射成束射出的方式，任何时候我们应该只能看到银河系可见部分中全部活动脉冲星的

大约1/5。但脉冲星是很弱的辐射源，天文学家估算，银河系内今天仍然活跃的全部脉冲星中，仅仅1%在我们的射电望远镜的可及范围内，而任何时候银河系中的活动脉冲星大概有数十万颗。

有些脉冲星是在球状星团中，这使得它们比较容易发现，因为含数千颗恒星的整个星团可同时进入射电望远镜的方向束内。球状星团的很多脉冲星自转异常快速，被称为毫秒脉冲星。这些脉冲星看来是双星系统中已经通过吸积物质将'自转加速'了的老年中子星。但在球状星团里找到的30多颗毫秒脉冲星中，只有一半今天是在双星系统内，这也许是因为其他的毫秒脉冲星已经吞食了它们的伴侣（见黑寡妇脉冲星）。目前在银河系平面内也发现了毫秒脉冲星。

在先发现的650颗脉冲星中，仅仅50颗已知是双星的成员，它们大多数的伴星是正常白矮星，五颗也是中子星，三颗是极小质量恒星——因而可能是黑寡妇脉冲星的伴侣，只有一颗是普通的非简并星。有一颗脉冲星，即PSR 1257+12，拥有三个围绕它公转的大小如行星的天体。

虽然帕西尼-戈德模型相当不错地勾画了脉冲星机理的一般图像，但至今无人能够细致说明我们探测到的辐射究竟如何产生，以及辐射究竟如何成束并射向太空。但是，即使缺少这种全面认识，脉冲星已被证明是很多理论的非常珍贵的'测试台'。它们是超级精密的计时仪（许多脉冲星的精度达到了10^{10}分之一），而脉冲双星显示的变化最可靠地证实了阿尔伯特·爱因斯坦在其广义相对论中作出的预言。1982年发现的第一个毫秒脉冲星的周期仅仅1.6毫秒，意味着一颗质量和太阳相仿的恒星被挤压成了一个密度与原子核一样、自转高达每秒钟600次的物质球。

pulsating universe　脉动宇宙，见振动宇宙。

pulsating variables（pulsating stars）脉动变星（脉动星），因星体像呼吸那样多多少少有规律地向内和向外脉动而引起光度变化的恒星。脉冲星（脉冲射电源的简称）曾经一度被认为是脉动变星，但它们实际上不是。

大多数恒星在其一生的某个阶段都要经历一个脉动期。脉动变星有好几个不同类别，它们是处在不同演化阶段且具有不同质量的恒星，其中包括天琴座RR型星和造父变星，这些星已经烧完了它们核心部分的全部核燃料，已经演化到离开了赫-罗图上的主序。

脉动变星亮度的变化归因于恒星外层的膨胀和收缩，而恒星的光谱（它们的颜色）也以同样的节奏

变化，因为恒星的表面温度在变。脉动也可以利用恒星光谱中代表恒星表面向内和向外运动速率的多普勒效应的变化来加以测量。粗略地说来，所有这些变化的周期与恒星的密度的平方根成反比，所以恒星的密度越高，其脉动越快。

驱使恒星脉动的能量归根结底来自恒星内部的核聚变反应，这些反应产生的电磁辐射能被表面附近的氦离子捕获。当电离氦区压缩时，它捕获的能量较多因而变得较热，于是产生一个压力将它上方的物质向外推出；而当外层膨胀时，电离氦区的密度下降，它捕获的能量减少，于是压力也下降，从而使得外层回落。整个过程就这样不断重复。

Purple Mountain Observatory 紫金山天文台，这大概是全世界名称最浪漫的天文台。它属于中国科学院，坐落在南京市外东北方向海拔 267 米的紫金山上。它的主要望远镜是一具 60 厘米反射望远镜、一具大小差不多的施密特照相机和一具用于毫米波天文观测的射电望远镜①。尽管台址的名称很浪漫，天文台本身却受到近处城市光污染的严重影响。

Pythagoras 毕达哥拉斯（约公元前 585 – 500），有影响的希腊哲学家，他有多方面的造诣，尤其是指出了大地是球形，行星沿圆周运动——并非根据任何科学思考，只是因为笃信圆是‘完美’的形式。毕达哥拉斯的生平（甚至他的生卒年份）不详，但他以发现有关直角三角形的著名定理而闻名；以他的姓氏命名的这条定理后来在狭义相对论和广义相对论对时空关系的研究中得到巨大应用。

毕达哥拉斯定理是利用直角三角形两直角边的长度计算斜边的长度。斜边的长度是位于斜边两端的两个点之间的最短距离，所以毕达哥拉斯定理告诉我们，要计算任意两点之间的距离，只要画出直角三角形，使得那两点位于斜边的两端就行了。

在一幅普通的二维图上，两直角边是分别平行于 x 轴和 y 轴量度的，不管图的原点置于何处，这样测量的两个长度永远不变，因而由它们总能计算出斜边的长度。

在三维情况下，类似的计算要用到三个相互垂直的量度方向，通常叫做 x 轴、y 轴和 z 轴。根据毕达哥拉斯定理，三个测量的长度同样决定了两点之间的最短距离，即

① 这台孔径 13.7 米的毫米波射电望远镜不在紫金山上，而在青海省的德令哈。——译注

短程线。重要的是，不管你如何设定量度 x、y 和 z 的三根轴（即参考系），用毕达哥拉斯定理算出的两点之间最短距离都相同，也就是给出惟一的短程线。这个定理甚至可以推广到四（或更多！）维度，来定义时空中的短程线以及整体宇宙或比如黑洞附近时空区的度规。由于非自转黑洞的视界是可能存在的最接近理想球形的事物，大概毕达哥拉斯也会对此表示赞许！

Pythagoras' theorem 毕达哥拉斯定理，见毕达哥拉斯。

Q

QSO QSO = 类星体。

quagma 夸胶体，见夸克－胶子等离子体。

quantum 量子，一个系统的最小可能部分，或一个系统可能完成的最小变化。因此，光子是光的最小可能单元，而一次量子性跳变的根本特征是它代表着系统中的最小变化，并且这种变化是无规则的（尽管遵循严格的概率法则）。

quantum chromodynamics（QCD） 量子色动力学（QCD），见大统一理论。

quantum electrodynamics（QED） 量子电动力学（QED），量子理论对电磁辐射（包括光）的性质及其通过光子交换与带电荷的物体相互作用的方式的描述。在将理论预言和原子中电子行为的测量相比较的基础上，已对量子电动力学进行了极其精密的检验，而且每次检验都顺利通过；它和广义相对论并列为整个科学中基础最稳固的两大理论（见脉冲双星）。

quantum field theory 量子场论，见场方程式。

quantum fluctuation 量子涨落，测不准原理允许的虚无空间状态的暂时性变化。量子测不准原理允许从完全空无一物之中出现少许能量，前提是该能量在很短时间内重归消失（涨落涉及的能量越小，它持续的时间越长）。这一能量可以取短命的粒子－反粒子对的形式，比如电子－正电子对。见免费午餐宇宙、霍金辐射。

quantum gravity 量子引力论，试图将广义相对论和量子理论结合起来（见大统一理论）的各种理论的总称。任何量子引力论的主要特征是，引力必须由一种叫做引力子（属玻色子）的粒子携带，它扮演的角色相当于量子电动力学中的光子。

quantum leap 量子跳变，见量子。

quantum mechanics 量子力学，见量子理论。

quantum physics 量子物理［学］，见量子理论。

quantum theory 量子理论，量子理论又称为量子力学或量子物理学，是一组在极小尺度上主要应用于原子或更小实体的物理定律。量子理论的核心是测不准原理和波粒二象性概念的结合。

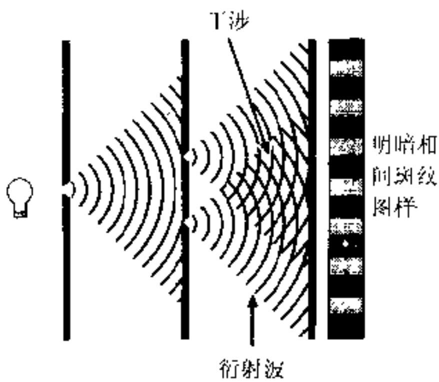
量子世界的每个实体都同时具有我们习惯视为截然不同事物——波和粒子的特性。例如，通常被视

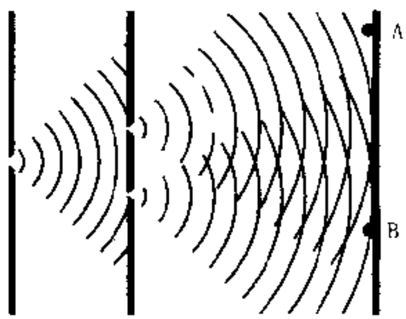
为电磁波的光，在某些情况下的行为就像是粒子（称为光子）流。19世纪末马克斯·普朗克发现，黑体辐射的本质，仅当原子以不连续的量子（光子）发射和吸收光时，才能得到解释。这一发现使物理学家明白了量子物理学和经典力学之间的区别。普朗克的发现的最根本要点是，原子能量的变化究竟可以多么小是有极限的；用现代术语说就是，这一变化的极限相当于发射或吸收单个光子。'量子跳变'的要点是，这种跳变是最小可能的变化；因此，当广告客户和政治家说取得了量子跃进般的进步时，他们无意间显露了他们的诚实。

普朗克本人并未提到光子，他不过将黑体辐射解释为原子除了以不连续份额方式外便不能发射能量的结果；他也没有想到光本身可以看成由粒子构成。是阿尔伯特·爱因斯坦最先在1905年发表的论文（他因该论文获得诺贝尔奖）中证明可以把光看成粒子。这一思想在1920年代发展为光的玻色子学说。也是在1920年代，实验证明典型的基本粒子——电子同样具有波的特性。但波粒二象性的实质在展示电子的波和粒子双重性质的现代实验中表现得最清楚。

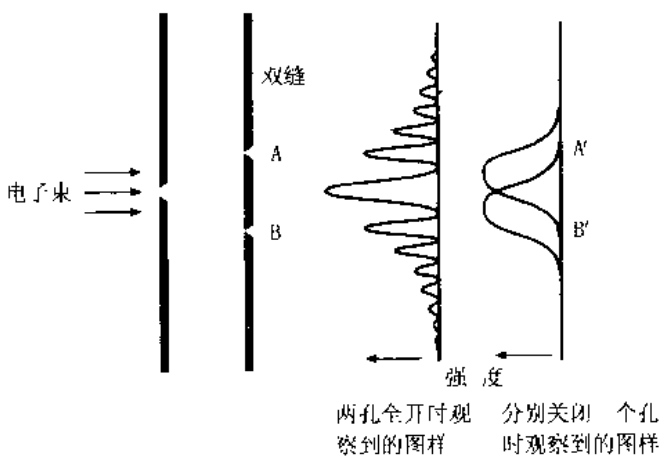
这些实验的基础就是经常用来（例如在中学的科学课堂上）证明光像波那样传播的'双缝'实验。在这样的实验中，光通过屏幕上的一个小孔，射到有两个小孔的第二屏幕上。从第二屏幕上两个孔的任何一个来的光继续向第三屏幕前进，并在那里形成由明暗相间斑纹组成的图样。对这种斑纹图样的传统解释是，从两孔中的每一个来的波抵达了最后那个屏幕的所有各处。在两束波步伐一致的地方，它们相加而形成亮斑；在两束波的步调错乱的地方，它们相互抵消而留下暗斑。与此完全相同的现象也发生在同时把两块小石头投进池塘所引起的涟漪之中——有些地方涟漪增强，另一些地方涟漪消失。所以这个双孔实验证明了光像波那样传播。

1980年代末日本科学家进行的现代实验中，光源被一支能每次发射一个电子的电子'枪'取代，两个孔的角色由磁场扮演，最后的屏幕则是类似电视机荧屏的探测器。通过实验装置的每个电子必须经由两条路线中的一条（两个'孔'中的一个）到达探测器的荧屏。果然，当一个一个的电子射进实验装置，每个电子在荧屏上引发一个对应着单个粒子到达事件的确切光点。但是，当一个一个射入实验装置的电子达到很大数量时，荧屏上引发的大量光点却形成了明暗分明的图样，它和同时通过两孔到达屏幕的波显示的干涉图样完全一





量子理论。光线射至'双孔实验'装置时，它形成一个衍射图样，从而'证明'光是波。当我们习惯上视为小型子弹的电子射向类似实验装置时，尽管每个粒子在探测器荧屏上引发一个光点，全部光点则构成一幅衍射图样。看来，量子实体'像波那样传播却像粒子那样到达'。但是，当实验装置两孔中的一个被关闭时，得到的图样却全然不同。两孔都打开时的图样，不同于分别打开其中一个孔得到的两幅图样相加起来的图样。这是量子世界的核心秘密。



样。

伟大的物理学家理查德·费恩曼（1918－88）曾经说，双孔实验包藏了量子力学的‘核心秘密’，无人懂得其中究竟发生了什么。它不仅仅表示量子实体运动时像波，到达和出发时像粒子，而且它们似乎还知道过去和未来。情况好像是，电子以粒子形式从电子枪出发，然后变成波旅行并经由两条路线进入实验装置，再后重新变成粒子而到达荧屏上一个确切地点。不仅如此，每个电子还选择了一个正确地方引发光点，以使它对很长时间内才得以形成的干涉图样做出它的贡献。它究竟是如何‘了解’所有其他电子，以及其他电子将落在图样中的什么地方的呢？在经典双孔实验中也曾经用过极其微弱的光源，使得每次只有一个光子进入实验装置。同样，它们也在最终屏幕上形成一个干涉图样。

对这一切的标准解释叫做哥本哈根解释（因为它主要是哥本哈根的学者们提出来的），这个解释认为，量子实体运动时就像严格遵守概率法则的波那样扩散，使得有可能计算什么地方的波最强（也就是什么地方找到电子或其他任何粒子的机会最大），什么地方的波最弱。当进行一次观察或测量时（例如，当电子波撞上探测器荧屏时），‘波函数’瓦解成为点状的粒子。就在那一瞬间，在其他任何地方发现电子的概率变为零，但只要量子实体不再被观察，概率立刻又从它最后观察到的地点向外扩散。

尽管存在很多不尽如人意之处，哥本哈根解释可以用来预言涉及诸如电子和质子等量子实体的实验结果，而且它还是研制激光器、电脑芯片和许多其他器物，以及理解复杂生物分子如脱氧核糖核酸所依据的物理基础。但哥本哈根解释的突出地位也和其他任何事物一样在很大程度上乃历史偶然。虽然哥本哈根解释由于是第一个可用的解释而被物理学家当作量子理论的标准版本，但它仅仅是好几种都有着不尽如人意之处、但也都能在类似计算中给出完全相同‘答案’的解释中的一种。对很多人来说，这意味着这些解释全都不能正确洞察量子世界究竟在发生什么事情；因此，在量子理论牢牢站稳脚跟之前，还需要一种对有关物理现象的全新的理解。

要获得全新的理解，可能需要完成某种理性的飞跃。量子力学的有些解释要求在时间上倒过来传播的信号，而所有解释都要求即使粒子相距很远也能彼此瞬间交换信息。这些也许就是理性飞跃的标志。

然而，量子理论就像烹调全书中的食谱，可以用来计算原子和其

他量子系统的性质。你可以按照食谱烘烤出蛋糕而不必了解烤炉中发生的物理过程，同样，你可以利用量子法则计算比如氢的光谱而不必了解量子世界发生了什么。所以，利用光谱学方法研究宇宙，就直接依赖于量子理论提供的关于原子和分子的知识。原子核的性质也取决于量子过程，因此我们对核合成和恒星内部产能反应的认识也依赖于量子理论。例如，正是量子不确定性解释了α粒子如何在发生α衰变时（通过隧道效应）从原子核中逃出，也解释了原子核何以能够在恒星内部条件下克服自身正电荷的排斥力而聚合在一起。由于原子核的位置不确定，它们比对应的经典粒子伸展得更大，因而即使经典力学说它们相隔太远无法汇合时，它们却能彼此‘交搭’而聚合。描述太阳内部这一切如何发生的模型在预言太阳的诸多观测性质（包括它的中心温度）方面所取得的成功，是表明量子物理学确为这一层面事物的恰当描述（至少在烹调全书意义上）的最佳大尺度象征之一。

量子物理学和宇宙学之间最重要的交汇是1920年代魏纳·海森伯提出的测不准原理。它和波粒二象性有关，并且可用物体的位置和动量的不确定性——即物体对它正往何处去的了解程度——予以最清楚的说明。位置显然是粒子的属性，你可以准确说出一个经典粒子在何处。同样显然的是，你无法说出经典的波在哪里，而只能指出波通过的空间区域，因为波的本性决定了它是一种向外扩展的东西。在经典力学世界，波没有与粒子同一意义上的位置，但它们确实有方向——它们有动量，并且知道它们正在走向何方。

海森伯证明，在量子世界，存在着一种了解位置和动量的内在不确定性。你永远不可能同时知道比如电子那样一个实体的位置和动量两者。如果你试图精密测量动量，就会加强实体的‘波动性’，使它扩大从而位置不确定。如果你试图精密测量它的位置，就将使它的波动性变得不确定，以致它无法肯定正在走向何方。位置不确定性的大小，乘以动量不确定性的大小，必须永远等于或大于一个确定数值，它等于普朗克常数除以 2π（这个数值记为 $\hbar$，读成‘h 杠’）。

这并不是测量实验中的困难导致的后果。当然，测量单个电子的位置和动量无疑是困难的，就在你进行测量时（大概会用光子从电子反跳回来的办法），你也在改变你试图测量的性质，因为电子因光子撞击而反弹。但量子不确定性是量子世界实体的内在本质的真正属性。一个像电子那样的实体不能既有精密的动量，又同时有精密的位

置；它自己确实不能同时准确'知道'它身在何处和走向何方。

就日常标准来看，这个效应是非常微小的——在质量以克计的标准单位体系中，数值 h 大约等于 10^{-34}；这就是重约 1 克的物体的位置不确定性的量度（以厘米计）。物体的质量越大，不确定性越小。对于质量仅 10^{-27}克的一个电子来说，其影响就十分显著了。

这种不确定性对天文学的重要性在于，一个物体或甚至一个虚无空间区的能量与它被观测的时间长度之间存在同一类型的关系。如果你长时间仔细观察某个事物，你想多精密就能够多精密地测量它的能量。但如果你仅仅匆匆一瞥，则能量——不单单是你测量的能量，而且也指真正存在的能量——总是不确定的。和量子实体不'知道'它自己的准确位置一样，它（以及整体宇宙）在一个短时间间隔内也不'知道'它拥有能量的准确数量。正是这个量子不确定性使得电子－正电子对（和其他粒子－反粒子对）能从完全空无一物之中出现，条件是它们要在量子不确定性允许的短短一瞬间彼此湮灭。这就是与黑洞关联的霍金辐射的来源。甚至可能整个宇宙也是以这种方式、通过真空量子涨落中出现的暴涨而创生的（见免费午餐宇宙）。

很多物理学家的终极希望是把量子理论和广义相对论统一在一个'万物之理'之中（见大统一理论）。这种理论的测试台将是它们能在多大程度上解释极早期宇宙的性质，因为那时的条件，比地球上粒子加速器中高能碰撞达到的条件远为极端。

补充读物：约翰·格里宾著《薛定谔之猫和求索真实》[40]；尼克·赫伯特著《量子实体》[47]。

quark　夸克，构成一切已知物质的两大粒子族之一（另见轻子）。夸克有六种，相互组成三对；它们的名称是随意起的，而且有些古怪，这些名称不过是标签而已，与它们的性质无关。

第一对叫做'上'夸克和'下'夸克；上夸克的电荷为 +2/3，下夸克的电荷为 −1/3（单位与电子电荷 −1 的单位相同）。它们是夸克族中与轻子族的电子及其中微子对应的粒子。一个质子由两个上夸克和一个下夸克构成，一个中子由两个下夸克和一个上夸克构成。这些，再加上电子及其中微子，就是描述原子构成的普通物质的结构所需要的全部粒子。

由于一些仍然不完全明白的原因，这整个图像已经在自然界复制了两次，产生了逐次加重的'几代'粒子。下一对夸克起名'奇'夸克和'粲'夸克（它们的轻子族对应物是 μ 介子及其中微子），最

重的一对是'顶'夸克和'底'夸克（它们的轻子族对应物是τ粒子及其中微子）。这些夸克每三个相结合可以构成其他强子。

与轻子不同的是，夸克还有另一种叫做'色'（也是随意起的名称）的性质，它和电荷类似，但有三个类别。所有强子的由三个夸克适当结合产生的最后的色等于零——这就是为什么包括质子和中子在内的每个重子含三个夸克的原因。夸克之间的色力（或'胶力'，相当于带电粒子之间的电磁力）系由胶子（相当于光子）携带。强核相互作用是作用于夸克之间的色力的副作用。

夸克和反夸克也能够以成对结合为所谓介子（见基本粒子）的形式存在，但单个的夸克不可能独立存在，除非在类似大爆炸中曾经出现过的那种极高温和极高能的条件下（见夸克-强子相变）。

quark era　夸克时代，见强子时代。

quark-gluon plasma　夸克-胶子等离子体，见夸克-强子相变。

quark-hadron phase transition　夸克-强子相变，大爆炸之初、夸克时代之末，当个别夸克不再能够自由漫步在原始火球中，而是一起束缚在强子（包括构成普通原子物质的重子）内部时，物质的物理状态的一种变化。它类似于在开氏几千度的温度下，电中性原子转变成带正电的离子与带负电的电子的混合物——等离子体。

夸克-强子相变发生在原始奇点爆发后百万分之一秒到十万分之一秒这段时间内。那时，宇宙冷却到了夸克能够结合成强子的程度。而正好在夸克-强子相变之前，宇宙是由夸克和胶子（在夸克之间传递所谓'色'力的粒子）混合的浓汤构成的，这样的浓汤叫做'夸克-胶子等离子体'（有时简称为'夸胶体'）。在宇宙的这个极早时期，温度是如此之高，以致个别夸克的能量大到了胶子无力将它们维系在一起。但在温度下降后，个别夸克的能量减少到了色力可以将它们禁锢住。夸克-胶子'时代'结束于宇宙从原始奇点（或者，更可能的是，从具有普朗克密度的状态）爆发创生之后大约十万分之一秒，那一时刻的温度约开氏10万亿度（10^{13}K）。

物理学家们正在用地球上的粒子加速器，通过将大质量原子核撞击在一起的方法，试图重现夸克-胶子等离子体中曾经存在过的条件。这样的'小爆炸'最终有可能使金原子核（其质量是质子的197倍）以0.999957倍光速彼此迎头猛撞。为达此目标，已经用重达32原子质量单位的硫原子核进行了第一轮实验。

这样一种短促的微型爆炸将释

放大量辐射．以及通过能量转化为质量而产生的多种粒子。要阐明所有这些新生粒子的复杂性质是困难的，但1994年对在这些事件中产生的单个光子能量的测量毫不含糊地证明，这些光子是来自夸克－胶子等离子体。这是大爆炸火球理论最重要的实验证明之一。

quasar 类星体，活动星系的高能核心。第一批发现的类星体是通过它们的射电辐射探测到的，并一度被命名为类星射电源；但在发现了不显示射电辐射的类星体后，名称才改为类星体，或QSO。实际上每200个类星体中仅有一个是射电源。不论有没有射电辐射，'类星体'的英文'quasar'都可以看成是'quasistellar'的简称。

1960年代初，射电天文学家已经知道有很多强射电噪声源不能与光学恒星或星系相证认。英国天文学家西里尔·哈泽德（Cyril Hazard）指出，月球将于1963年在这些源之一（剑桥射电源第三表中的273号）的前面经过。这次掩源事件使天文学家得以根据月球边缘遮断射电噪声的时刻，极精确地定出3C 273这个源的位置，从而辨认出3C 273是一个恒星状天体。但是这颗'恒星'具有很大的红移，说明它远在银河系之外。以后的研究证明，类星体都位于星系的中心，不过这些星系本身因距离太远而十分黯淡，很难看得清楚。

类星体亮度的闪烁变化说明它们的能量来自一个大小约1光日的区域，这大致和我们太阳系大小相仿。但要能在如此远的距离上被看见，它们辐射的能量必须达到银河系全部恒星辐射能量总和的1,000倍左右。对此，最合理的解释是，每个类星体是一个特大质量黑洞，其质量相当于1亿个太阳，并以每年约1太阳质量的速率吞食环绕它的星系的物质。由此释放出的能量多达阿尔伯特·爱因斯坦公式 $E = mc^2$ 规定的最大理论值的一半，足以解释类星体的能量输出。

有些类星体的红移大于4，因而是最遥远的已知天体。我们现在从它们接收到的光，是宇宙年龄不到当前年龄20%的时候出发的——按照标准宇宙模型，这大概是在100多亿年前、大爆炸之后仅20或30亿年的时候（见回顾时间）。

1995年，哈勃空间望远镜观测了14个类星体，但未能在其中8个的周围找到预期存在星系的任何迹象，这使天文学家大感惊奇。但他们发现，其中有些类星体伴随着相距不到10千秒差距（小于银河系直径）、且被类星体强大引力畸变了的星系。一个可能的解释是，与类星体相连的巨大黑洞形成于周围重子物质云内恒星形成过程开始

之前，因而首先看到的仅仅是类星体，后来才在它的周围形成星系。另一个可能性是，较小星系大胆过分靠近巨大黑洞，它们的物质落进黑洞时可能激发类星体活动——或者，重新激发一个已经吞食了过去环绕它的星系的全部物质的黑洞。要了解类星体和星系相互关系的详情，还需要根据这些观测重新思考。

R

radar astronomy **雷达天文［学］**，向流星和行星等类天体发射射电波并通过它们反射的回波研究这些天体性质的方法。在派遣空间探测器考查金星之前，曾经用（阿雷西博射电望远镜发出的）雷达波测绘金星表面；也曾经用雷达异常精确地测定内行星的距离，以此对天文单位进行校准。

radial velocity **视向速度**，一个天体，比如一颗恒星，直接朝向或远离我们运动的速率。视向速度可从多普勒效应直接测量，但它无法告诉我们天体横过视线的速度（见横向速度）。

radian **弪**，角度的一种单位，亦称弧度。360°的整个圆周含 2π 弪，所以 1 弪等于 57.3°。

radiation **辐射**，广泛用于描述携带能量通过空间的任何过程的词语。最熟悉的辐射形式是电磁辐射，辐射也用于称谓活动中的粒子如α粒子或β粒子，甚至也用于引力辐射。

radiation era **辐射时代**，早期宇宙中电磁辐射占统治地位的时期，它大约从宇宙诞生后 1 秒钟开始，持续到 300,000 年后复合过程得以发生时为止。见大爆炸。

radiation pressure **辐射压**，电磁辐射施加在物体上的压力。在这种场合下最好把电磁辐射看成对物体进行推撞的光子流。太空中尘埃颗粒受到的辐射压可能超过引力，这就解释了彗星的稀薄尾巴为何总是背离太阳——它是被辐射压推出来的。

radioactive decay **放射衰变**，一个不稳定的原子核或粒子放射出一个或多个粒子而转变为稳定核或粒子的过程。一个大质量核分裂成大致相等的两部分这种极端情形通常不叫做衰变，而称为核裂变，但除了两'半核'外，核裂变也要放射其他粒子。

原子核的放射衰变主要是α衰变和β衰变两种，它们的结果是将一个原始放射性核（称为母核）转变成另一种元素的核（称为子核），后者本身既可能是也可能不是放射性的。衰变的发生有一个特征时间尺度，叫做半衰期。这类衰变可能要经过一长串步骤才最后变成一个稳定核。衰变过程可能释放电磁辐射形式的能量。

不稳定粒子的衰变与此相似——典型例子就是一个孤立中子转化为一个质子、一个电子和一个

中微子的β衰变。根据粒子物理学（包括大统一理论）认可的模型，能够视为稳定粒子的只有最轻的夸克族和电子。任何其他粒子——在地球上粒子加速器或宇宙的猛烈事件中创造出来的较大质量粒子——都将衰变，最后成为夸克或电子。夸克构成了质子和中子，而中子衰变成质子和电子。甚至质子也可以说是不稳定的，它能衰变成正电子和叫做π介子的粒子，后者再衰变成两个γ射线；而由此产生的正电子将与电子湮灭，以制造更多γ射线，这正好与物质被认为由大爆炸的能量产生的情况成镜像反转。不过，基于超对称性概念的大统一理论认为，质子的寿命约为 10^{45} 年，所以宇宙目前还不至于消失在猛然一阵γ射线中。

radio astronomy　射电天文［学］，利用射电波、尤其是波长从微波波段（几厘米）向长波方向伸展的范围内的电磁辐射研究宇宙的学科。红外天文学和传统射电天文学之间的毫米波天文学，严格说来也是利用射电波，但通常被看成是一门独特的次级学科。射电天文学在宇宙探索中，特别是在背景辐射、中性氢区、电离氢区、脉冲星、射电星系、类星体和超新星遗迹等等射电源的研究中起着极其重要的作用。

来自太阳系以外的射电波是卡尔·央斯基在 1930 年代初最先探测到的（表现为无线电通讯设备中的噪声），但当时几乎没有引起天文学家的注意，只有格罗特·雷伯制造了一台射电望远镜专用于研究这一新发现的现象，并在 1930 年代单枪匹马进行了跟踪观测。第二次世界大战期间，雷达的发展为后来成为射电天文学的研究打下了技术基础；天文射电噪声源也曾被战时雷达设备探测到，到了战后，有雷达工作经验的科学家和剩余的雷达设备双双齐备，使射电天文学得以立即起步。射电天文学初期的开创性发展在英国最为强劲：伯纳德·洛弗尔指导建造了现在以他的姓氏命名的坐落在焦德雷班克的射电望远镜，而马丁·赖尔则在剑桥领导一个射电天文学家小组与之竞争。

从地球表面进行射电天文研究之所以可能，是因为地球大气让射电波通过。事实上，地球大气阻挡了大多数波长的电磁辐射，只有可见光、部分红外辐射和毫米波辐射，以及波长大致在 1 厘米～30 米范围内的大量射电波能够穿过大气中的一些‘窗口’到达地面。

虽然很多射电噪声源与银河系内的天体（如蟹状星云）有关，但 1950 年代射电天文学最重要的发现则是大量远在银河系以外的射电星系。射电星系在很多方面很像射电宁静星系，但发出的射电噪声要比一般星系如银河系或仙女座星系

多得多。大约与此同时，苏联物理学家提出了同步加速辐射理论，解释了强大射电噪声如何产生。正是射电天文学首先证明宇宙是一个处处有风暴的场所，因为一些星系核的活动正在释放巨大的能量。

射电星系用光学天文方法观察时一般都很暗弱，所以，将射电源与光学星系相证认就成了确定河外射电源位置的重要途径。1960年，发现一个暗弱射电星系的红移等于0.46，是当时已知的最遥远天体。这促使光学天文学家在射电星系的光学对应体中搜寻更多破记录的红移，从而导致几年以后类星体的发现。从那时以来，类星体已经用干涉测量等各种方法进行过详细研究。干涉测量能够测出射电源结构中精微到0.001角秒的细节，这相当于测量15,000公里外一个棒球的角直径。到了1990年代，红移记录已经提高到4以上（相当于回顾大爆炸以来宇宙历史的90%），射电天文学家记录在案的河外射电源也超过了20,000个，而收录在天体表中的光学星系大约超过50,000个（大视场天空照片拍摄的光学星系比这要多得多，但它们从未仔细研究过；已编目河外射电源中，证认出光学对应体的刚刚超过半数）。

1960年代射电天文学的成就，还包括阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊偶然发现背景辐射，以及乔丝琳·贝尔－伯内耳偶然发现脉冲星。背景辐射的发现改变了宇宙学的方向，因为它向天文学家证明确实发生过大爆炸，从而使早期宇宙研究成为体面的科学课题；脉冲星的发现则证明我们银河系内也在发生暴烈事件，并指出了导致后来证认恒星质量黑洞的研究方向。要解释类星体和射电星系的能源，则要求大得多的含数百万倍太阳质量的黑洞。

不过，射电天文学揭示的并不仅仅是宇宙中的暴烈现象。早在射电天文学发展初期的1950年代，太空氢云就已经根据波长21厘米的特征辐射得到证认。这些工作不但为研究银河系中氢的分布，而且为研究氢的运动提供了方法——因为这一辐射的波长测定得极其精密，所以发射星云的运动可以十分可靠地根据它们的多普勒效应计算出来。正是21厘米射电图才第一次无可怀疑地证明银河系真的是一个有着旋臂的自转盘状星系。同样的方法也能测绘近邻星系，比如仙女座星系的图，结果表明它们与我们银河系十分相似。

射电天文学也是证认星际分子的主要工具。1963年前找到的太空化合物只有次甲基（CH）和氰基（CN）；射电天文方法证认的第一种星际化合物（羟基OH）是

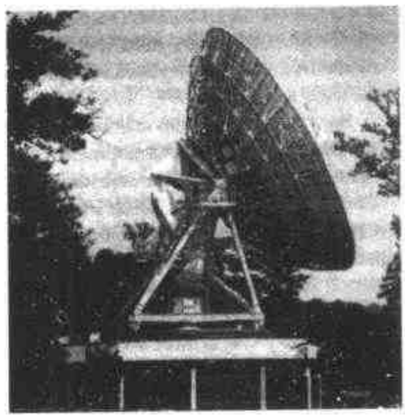
1963年根据波长18厘米的频谱特征探测到的，迄今在星际云中已经证认了很多分子，其中大多数是用的毫米波天文学技术。

射电技术也能用于研究太阳，因为太阳黑子和太阳耀斑等特征也发出射电辐射。木星也是一个微弱的射电噪声源；不过太阳系的其他行星和卫星则是射电宁静天体，尽管可利用它们反射的射电波进行研究（雷达天文学）。但是，1940年代以来射电天文学发展的最重要的特色，并不在于它提供了更多的关于我们已经在光学波段很了解的天体的信息，而是它发现了用任何其他方法不可能发现的全新的、意外的天体，从而开辟了一条研究宇宙的新道路。

radio galaxy **射电星系**，任何发射强大射电波的星系。大约每100万个星系中有一个可分类为射电星系，而一个射电星系的典型射电'亮度'约等于银河系的100万倍。这种活动可能与存在于星系中心的、很多方面与类星体相似的黑洞有关。

radio source **射电源**，严格说，任何射电噪声源都是射电源，但宇宙学家用射电源特指射电星系和类星体。

radio telescope **射电望远镜**，收集并研究来自太空的射电波的整个系统。一台射电望远镜的组成部分包括一具收集射电噪声的天线、一个放大器和一个接收机/记录仪。射电望远镜的大小和形式相差悬殊，有些采用巨大的全可动抛物面天线，如洛弗尔望远镜；另一些则由架设在很大场地上的一排排长导线组成。



射电望远镜。坐落在比利时雷西夫斯的射电望远镜的巨大抛物面天线。

radio waves **射电波**，波长从几毫米（红外辐射的长波端）直到数百公里——原则上可以无限长——的电磁辐射。

现在我们所称的射电波的存在是詹姆斯·克拉克·麦克斯韦在1860年代预言的；麦克斯韦推导出一组方程式，描述了电磁扰动在空间传播的特性，发现它们以光速传播，从而揭示光本身也是电磁波的一种

形式。1888年，德国物理学家海因里希·赫兹（1857–94）首次展示了人工产生的麦克斯韦预言的长波电磁辐射；但来自太空的射电波直到1930年代才探测到（见射电天文学）。

RATAN 600　拉坦600［射电望远镜］，坐落在高加索山脉的射电望远镜，由安放在直径600米（实际上是576米，讲成600米比较上口）圆周上的895块各宽2米的金属板组成。这些板可通过电子线路连接起来作为单一抛物面天线进行观测，或者，圆周的每个象限作为独立的天线系统使用。

Reber, Grote　雷伯，格罗特（1911–　），获悉卡尔·央斯基发现太空无线电噪声后成为第一位射电天文学家的美国无线电爱好者。1937年雷伯在伊利诺伊州他家的后院建造了第一具专用的射电望远镜。虽然雷伯在射电波段研究宇宙先于其他任何人好几年，但他始终没有汇入天文学界的主流，他最后（1954年）定居在远离一切人工射电噪声源的塔斯马尼亚岛，在那里可以观测南部天空，包括银河系的中心。1990年代中期他仍然积极从事这样的观测。

recession of galaxies　星系退行，膨胀宇宙中星系（严格讲应是星系团）彼此分开的运动，它是由星系之间空间的伸展，而非星系通过空间运动所造成。见红移。

recombination　复合，当宇宙年龄大约为300,000年、并已冷却到发生电子与核结合成电中性原子的过程。这种情况出现在与今天太阳表面相近的温度下，即开氏6,000度左右。由于此前从未存在过中性原子，所以上述过程严格讲应该是‘结合’而不是‘复合’；但‘复合’一词乃从等离子体研究借用，而等离子体是先加热到形成离子，然后再让它冷却并复合。见大爆炸。

recombination era　复合时代，发生复合的时期。

recurrent nova　再发新星，已经看见爆发过一次以上的新星。所有新星可能都是再发新星，不过其中一些自天文学家开始观测以来碰巧只爆发过一次。

reddening　红化，太空尘粒对遥远恒星的光产生的影响。和空气中的尘埃使晚霞红艳的情形一样，尘粒散射较短波长的（蓝色）光比散射较长波长的（红色）光更厉害，所以红光能较容易地穿过尘粒。这也是红外观测最有利于研究银河系中尘埃区的原因。红化与红移没有任何关系。

red dwarf　红矮星，1990年代英国广播公司推出的极受欢迎的科学幻想幽默电视系列剧的名字，但那是从天文学借用的。而天文学家所称的

红矮星指的是位于主序冷端的M和K型星，它们的质量约为太阳的20%～80%，表面温度2,500～5,000K。根据标准恒星模型，甚至更小的红矮星也能存在，但迄今用哈勃空间望远镜进行的搜索尚未找到它们。

red giant 红巨星，天文学家用来称呼已经演化到离开了主序、且膨胀到直径达太阳的10到100倍的M和K型星。它们的表面温度和红矮星的相仿，但由于表面积较大而辐射较多的能量。红巨星的质量相差颇大，最高可达太阳质量的数十倍。见恒星演化。

redshift 红移，天体的光或者其他电磁辐射可能由于三种效应被拉伸而使波长变长。因为红光的波长比蓝光的长，所以这种拉伸对光学波段光谱特征的影响是将它们移向光谱的红端，于是全部三种过程都被称为'红移'。

第一类红移在1842年由布拉格大学的数学教授克里斯琴·多普勒做了说明，它是由运动引起的。当一个物体，比如一颗恒星，远离观测者而运动时，其光谱将显示相对于静止恒星光谱的红移，因为运动恒星将它朝身后发射的光拉伸了。类似地，一颗朝向观测者运动的恒星的光将因恒星的运动而被压缩，这意味着这些光的波长较短，因而称它们蓝移了。

一个运动物体发出的声波的波长（声调）也有与此完全相似的变化。朝向你运动的物体发出的声波被压缩，因而声调较高；离你而去的物体的声波被拉伸，因而声调较低。任何遇到过急救车或其他警车警笛长鸣擦身而过的人对以上两种情况都不会陌生。声波和电磁辐射的上述现象都叫做多普勒效应。

多普勒效应引起的红移和蓝移的测量使天文学家得以计算出恒星的空间运动有多快，而且还能够测定，比如说，星系的自转方式。天体红移的量度是用红移引起的相对变化表示，称为 z。如果 $z = 0.1$，则表示波长增加了10%，等等。只要所涉及的速率远低于光速，z 也将等于运动天体的速率除以光速。所以，0.1的红移意味着恒星以1/10的光速远离我们而去。

1914年，工作在洛韦尔天文台的维斯托·斯里弗发现，15个称为旋涡星云（现在叫做星系）的天体中有11个的光都显示红移。1922年，威尔逊山天文台的埃德温·哈勃和米尔顿·哈马逊进行了更多的类似观测。哈勃首先确定了星云是和银河系一样的另外的星系。然后，他们发现大量星系的光都有红移。到了1929年，哈勃主要通过将红移和视亮度的比较，确立了星系的红移与它们到我们的距离成正比的关系（现在称为哈勃定律）。

这个定律仅对很少几个在空间上离银河系最近的星系不成立，例如仙女座星系的光谱显示的是蓝移。

起初，遥远星系的红移被解释成星系在空间运动的多普勒效应，似乎它们全都是由于以银河系为中心的一次爆炸而四散飞开。但很快就意识到，这种膨胀早已隐含在发现哈勃定律之前十几年发表的广义相对论方程式之中。当阿尔伯特·爱因斯坦本人1917年首次应用那些方程式导出关于宇宙的描述（宇宙模型）时，它发现方程式要求宇宙必须处于运动状态——要么膨胀，要么收缩。方程式排除了稳定模型存在的可能性。由于当时无人知晓宇宙是膨胀的，于是爱因斯坦在方程式中引入一个虚假的因子，以保持模型静止；他后来说这是他一生'最大的失误'。

去掉那个虚假因子后，爱因斯坦方程式能准确描述哈勃观测到的现象。方程式表明，宇宙应该膨胀，这并不是因为星系在空间运动，而是星系之间的虚无空间（严格说是时空）在膨胀。这种宇宙学红移的产生，是因为遥远星系的光在其传播途中被膨胀的空间拉开了，而且拉开的程度与空间膨胀的程度一样。

由于红移正比于距离，这就给宇宙学家提供了一个测量宇宙的衡量标准。量竿必须通过测量较近星系来校准，虽然这种校准还有一些不确定性（见宇宙距离尺度），但它仍然是宇宙学惟一最重要的发现。没有测量距离的方法，宇宙学家就不可能真正开始认识宇宙的本质，而哈勃定律的准确性表明，广义相对论是关于宇宙如何运转的极佳描述。

由于历史原因，星系的红移仍然用速度来表示，尽管天文学家知道红移并非由通过空间的运动所引起。一个星系的距离等于它的红移'速度'除以一个常数，这个常数叫做哈勃常数，它的数值大约是60公里每秒每百万秒差距，这意味着星系和我们之间距离的每一个百万秒差距将引起60公里每秒的红移速度。对我们的最近邻居来说，宇宙学红移是很小的，而像仙女座星系那样的星系显示的蓝移确实是它们的空间运动造成的多普勒效应蓝移。遥远星系团（犹如一群蜜蜂）中的星系显示围绕某个中间值的红移扩散度；这个中间值就是该星系团的宇宙学红移，而对于中间值的偏差则是星系在星系团内部的运动引起的多普勒效应。

哈勃定律是惟一的红移/距离定律（稳定宇宙除外），不论从宇宙中的哪个星系来观测，这个定律'看起来都是一样'的。每个星系（非常近的邻居除外）退离另一个星系的运动都遵循这条定律，膨胀

是没有'中心'的。这种情形通常比作画在气球表面的斑点，当气球吹胀时，斑点彼此分开更远，这是因为气球壁膨胀了，而不是因为斑点在气球表面上移动了。从任意一个斑点进行的测量将证明，所有其他斑点的退行是均匀的，完全遵守哈勃定律。

当红移大到相当于大约1/3以上光速时，红移的计算就必须考虑狭义相对论的要求。所以红移等于2并不表示天体的宇宙学'速度'是光速的两倍。事实上，$z = 2$ 对应的宇宙学速度等于光速的80%。已知最遥远类星体的红移稍稍大于4，对应的'速度'刚刚超过光速的90%；星系红移的最高记录属于一个叫做8C1435 + 63的天体，其红移值等于4.25。宇宙微波背景辐射的红移是1,000。

第三类红移是由引力引起的，而且也是爱因斯坦的广义相对论所阐明的。从一颗恒星向外运动的光是在恒星的引力场中做'登山'运动，因而它将损失能量。当一个物体，比如火箭，在引力场中向上运动时，它损失能量并减速（这就是为什么火箭发动机必须点火才能将它推入轨道的原因）。但光不可能减速；光永远以比300,000公里每秒小一点点的同一速率c传播。既然光损失能量时不减速，那就只有增加波长，也就是红移。

原理上，逃离太阳的光，甚至地球上的火把向上发出的光，都有这种引力红移。但是，只有在如白矮星表面那样的强引力场中，引力红移才大到可测的程度。黑洞可以看成是引力场强大到使试图逃离它的光产生无穷大红移的物体。

所有三类红移可能同时起作用。如果我们的望远镜非常灵敏，能够看见遥远星系中的白矮星的话，那么白矮星光的红移将是多普勒红移、宇宙学红移和引力红移的联合效果。

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]；威廉·考夫曼著《宇宙》[48]。

redshift survey **红移巡天**，综合了广阔空间体积内星系的距离（根据红移测量）及其在天空上的位置等数据的图。红移巡天能提供星系的三维信息。

Rees, Sir Martin John **里斯，马丁·约翰爵士**（1942－ ），英国天体物理学家，生于约克郡，1995年初接替阿诺德·沃尔芬代尔（Arnold Wolfendale）成为第15任皇家天文官。里斯求学于剑桥三一学院，除1972～1973年在苏塞克斯大学短期工作外，他的大部分科学生涯是在剑桥天文研究所度过，并两度（1977～1982年和1987～1991年）出任该研究所的所长，1973～1991年兼任天文学及经验哲学普鲁明教

授，他辞去该职务（以及所长职务）是为了从行政事务中脱身，以便用更多时间从事科学研究和传授科学知识。

里斯的研究兴趣几乎遍及整个天体物理学，从类星体和活动星系的本质到宇宙的创生、黑洞、暗物质之谜以及基于人择原理的宇宙学。在所有这些领域——还有其他领域中，他都做出了不小的贡献。但他对天体物理学的最重要贡献则可能是他的教学和对年轻科学家的感召，他的指教和鼓励曾使不少人受益。里斯于1992年被封为爵士。

reflecting telescope 反射望远镜，主要使用曲面反射镜收集光和放大像的望远镜。反射望远镜概念是伦纳德·蒂杰斯在16世纪首先提出的，但直到17世纪下半叶艾萨克·牛顿重新提出后才付诸实施。最早的反射望远镜采用抛光的金属镜面。18和19世纪，威廉·赫歇尔和罗斯勋爵极大地发挥了金属镜面望远镜的效率，但19世纪末制造大孔径镀银玻璃镜面获得成功，为20世纪生产更大光学望远镜打下了基础。1990年代加拿大人提出用曲面旋转盘上覆盖薄薄一层水银作为镜面的反射望远镜系统，可能是一种新的发展方向。

reflection nebula 反射星云，因反射光才显得明亮的星云。

refracting telescope 折射望远镜，主要使用透镜收集光和放大像的望远镜。第一具折射望远镜可能是伦纳德·蒂杰斯在16世纪下半叶制造的，稍后荷兰人也独立发明了折射望远镜，而意大利人伽利略则于17世纪头10年成为使用望远镜观察天象的第一人。当艾萨克·牛顿重新提出反射望远镜原理并付诸实践后，折射望远镜在天文观测中便失宠了，因为它们（和反射望远镜不同）的色差产生严重畸变的五彩斑斓的像。

色差问题于1800年代初因发明消色差透镜而得到克服，使折射望远镜在19世纪的大部分时间内成为光学天文学的中坚。但是，透镜究竟可能达到多大孔径，是受它们在自身重量作用下变形的限制（而反射镜面则显然可以从背面加以支撑），这一限制，再加上镀银玻璃镜面的兴起，终于使折射望远镜在20世纪初被废除。目前最大的折射望远镜仍然是1880年代制造的叶凯士天文台的102厘米望远镜（仍在使用中）。

Reissner-Nordstrøm solution 赖斯纳-诺德斯特罗姆解，阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的一个描述无自转有电荷的黑洞的解。这种黑洞不大可能存在于现实宇宙中，因为它将从周围吸引相反电荷而很快变成电中性的史瓦西黑洞。这个解是海因里希·赖斯纳（Heineich

Reissner)在 1916 年和芬·龚纳尔·诺德斯特罗姆(Finn Gunnar Nordstrøm)在 1918 年求出的，但他们两人从未共过事。

relative sunspot number 太阳黑子相对数，见沃尔夫数。

relativistic astrophysics 相对论天体物理［学］，在必须考虑狭义相对论或广义相对论（或同时考虑两者！）的条件下建立理论模型描述天体本质的学科。当涉及很高的能量、密度或速度时，往往就要用到相对论天体物理学，而在这些极端条件下常常必须同时考虑量子理论。应用相对论天体物理学的经典例子有白矮星、中子星和黑洞的研究，以及类星体、活动星系和极早期宇宙（见暴涨）的研究等。

relativistic mechanics 相对论力学，当所考查物体的速率达到光速的显著部分时必须对（以牛顿运动定律为基础的）经典力学进行的修正。相对论力学是阿尔伯特·爱因斯坦在其狭义相对论中提出的。狭义相对论的方程式描述的种种事物中，包括正确规定如何进行速度的相加，使得不论你如何增加物体的速率，它也永远不会快于光速。

实际上，狭义相对论也能完美地描述低速运动物体的性质——如果所处理的速率远低于光速，相对论力学方程式给出与经典力学方程式完全相同的‘答案’（包括速度的相加）。牛顿定律是包含在狭义相对论中的适用于低速的特殊情形，所以经典力学实际上比狭义相对论更加狭窄（指适用范围）。

在这一点上，宇宙具有一种至今未能得到充分领悟的奇特性质。狭义相对论认为，所有惯性系都是等价的。但在宇宙中的任何一点，存在一个优先参考系，在这个参考系中，宇宙看起来朝所有方向均匀膨胀，背景辐射在所有方向也显得一样。用狭义相对论的行话说就是，宇宙本身不具有‘洛伦兹不变性’，而在宇宙的任何地点，膨胀决定了一个优先参考系，叫做‘哈勃参考系’。

这是威廉·麦克雷在 1950 年代首先指出的。它并不表示相对论力学有错，但可能意味着相对论力学还不是事物的全部——例如处理惯性问题和马赫原理时就是如此。令人感兴趣的是，如果仅仅针对能使令人不快的无穷大从方程式中消失的哈勃参考系进行计算的话，则量子电动力学的陈述要简单得多。

relativity theory 相对论，见狭义相对论和广义相对论。

resolution 分辨率，望远镜或其他仪器记录图像精细结构的能力的一种量度。例如，如果两颗恒星在天空中靠得很近，你将需要高分辨率才能把它们显示为分开的两个光点，而低分辨率望远镜将把它们显示为

单一的较大的光斑。

resolving power 分辨本领，见分辨率。

rest mass 静止质量，对一个与测量者（或测量装置）处在同一个参考系中的静止物体测出的质量。因此，静止质量是物体在其自己的参考系中拥有的质量。

狭义相对论指出（很多实验也已经证明），物体高速运动时其质量增加。但质量的这种增加不能被任何与高速运动物体一起运动的人所察觉，而只能由身处可以看见物体高速运动的参考系中的观察者探测到。对这样的观察者来说，测得的运动物体质量的增加符合相对论力学方程式，而如果物体能以光速运动的话，质量将增加到无穷大。这就是任何‘亚光速’物体永远不可能加速到光速的原因之一。

要避免真正以光速运动的物体——比如光子本身——拥有无穷大质量，惟一的办法就是令其静止质量为零。静止质量概念对光子而言是没有什么意义的，因为光子在任何参考系中都永远不会静止；狭义相对论的基础就在于，从任何参考系测得的光速都相等。但传统上说一切以光速运动的实体的静止质量等于零，是因为这样可以方便地得出它们以光速运动时的质量仍然为零。

Rhea 土卫五，土星的第二颗最大的卫星。土卫五由乔万尼·卡西尼于1672年发现，它的直径为1,530公里，密度比水密度高30%，其表面有大量环形山，与土星的平均距离为527,040公里。

Riemann, (Georg Friedrich) Bernhard 黎曼，（乔尔格·弗里德里希·）伯恩哈德（1826－66），德国数学家，提出弯曲空间完整数学描述（非欧几何学）的第一人，建立了后来阿尔伯特·爱因斯坦在其广义相对论中采用的数学构架。

1826年9月17日，黎曼出生在汉诺威的布雷斯连茨，是一位路德教牧师的六个子女之一。他显示了早熟的数学天资，但他的父亲却鼓励他学习神学。他20岁进入格



伯恩哈德·黎曼（1826－66）。

廷根大学时本打算终生从事神学工作，但很快就说服他的父亲同意他改学数学。黎曼在格廷根师从最伟大数学家之一的卡尔·高斯（1777～1855），高斯自己早在1799年就已经研究过一种形式的非欧几何学，但从未发表过他的发现（高斯一生常常这样，他把一些研究短文保存在他的私人速记本中；一些已经辨认出的速记表明，很多后来由别人公布的发现实际上高斯早就发现了，而速记本中无法辨读的东西大概是至今仍无人知晓的数学发现）。

1847～1849年在柏林学习两年后，黎曼回到格廷根攻读博士学位，1851年顺利毕业。当时，年轻教师要在德国大学立足，通常是先担任德国人称之为‘privatdozent’的自力讲师；这类讲师的主要特点是不拿薪水，但可从选修该讲师课程的学生缴纳的学费中领取一笔收入。在教师阶梯的最低一级干了两年后，黎曼希望在大学中谋得一个较稳定的职位。为了展示自己具备就任稳定职位的资格，申请人必须向全校教授发表演讲。当时的规则要求申请人自报三个可能的演讲题目，由教授们从中选定，而教授们传统上总是挑选头两个题目中的一个。黎曼自报的头两个题目是经过周到准备的，而第三个仅仅是为了凑数，是计划外的，题目是‘关于构成几何基础的假设’。

黎曼无疑对几何学有兴趣，但却未曾就这个题目做任何准备，因为他根本没有想到它会被选中。但令他觉得遗憾而使以后几代数学家和宇宙学家感到庆幸的是，当时年近70却仍然在格廷根大学居于支配地位的高斯选定了这个与他自己年轻时的兴趣遥相呼应因而无法抗拒的题目，而27岁的未来学者也发现，要想获得他谋求的职务，他不得不在几何学上给教授们留下好印象。

也许部分由于必须在短时间内准备好将决定他一生的演讲，劳累过度的黎曼病倒了，他错过了规定的演讲日期，直到1854年复活节后才痊愈。他十分高兴可以喘息一阵子。现在，新的演讲日期到来之前——因为高斯患病而再次延期——他有7周时间进行准备。演讲终于在1854年6月10日举行，但直到黎曼过早去世（因肺结核）一年后的1867年才公开发表。它的广博内容令人吃惊，其中包括切实可行的空间曲率定义及如何进行测定的说明，球面几何学的首次描述（包括可视为近代黑洞概念先兆的推测，这些推测指出，我们居住其中的空间可能是轻微弯曲的，使得整个宇宙成为三维闭合物，就像球表面是二维闭合物一样），而最重要的则是借助代数可将几何学推

广到三维以上。

无须多说，教授们获得了足够深刻的印象，同意给予他稳定职务。1855年，就在黎曼的几何学演讲之后不到一年，高斯去世。1859年，高斯的继任者去世，黎曼自己被聘为教授，这时离他的著名演讲还不到5年。他在短暂的一生中还有很多其他数学成就（都与宇宙学没有直接关系），7年后，1866年7月20日，黎曼在39岁时逝世。

right ascension 赤经，天文学用来定义天体在天空上的位置的两个坐标之一（见赤纬）。天体的赤经（RA）是从一个叫做春分点的标准点向东量到该天体的角距离——相当于天体的经度。赤经的常用单位是小时（h）、时分（m）和时秒（s）；1h = 15°。

ripples in time 时间涟漪，见背景辐射。

Robertson-Walker metric 罗伯森-沃克度规，描述均匀和各向同性的宇宙——也就是遵守宇宙学原理的宇宙——中时空性质的度规。这种度规是美国人霍华德·罗伯森（Howard Robertson）和英国数学家沃克（Walker, A. G.）在1935年彼此独立提出的。它是基于大爆炸的宇宙学的各种数学模型的基础。罗伯森-沃克度规在数学上可将时空分离成两部分——弯曲空间和宇宙时间；虽然这在通常意义上显而易见（因为我们居住在这一度规成立的宇宙中），但在更一般条件下空间和时间的分离是模糊不清的。这就是比如黑洞周围区域何以必须用克尔度规或史瓦西度规描述的原因。

Roche, Édouard Albert 洛希，爱德华·阿尔贝（1820-83），法国数学家，求学于蒙彼利埃大学和巴黎，1852~1881年在蒙彼利埃任数学教授。1850年，他计算了卫星在绕行星的轨道上的洛希极限，后来又对星云假说进行了数学分析。

Roche limit 洛希极限，如果一颗卫星环绕一颗具有相同密度的行星运动时，与行星接近到2.456倍行星半径以内，则卫星将被引力撕碎。这就是洛希极限。或者说，在洛希极限内运行的物质颗粒环永远不可能通过吸积形成卫星。土星环就在该行星的洛希极限内。小卫星能完好无损地在洛希极限内运动，是因为它们由原子和分子之间的力维持在一起。

Roche lobe 洛希瓣，见等势面。

Rømer, Ole 罗默，奥利（1644-1710），丹麦天文学家，他于1675年通过观测木星卫星的食，算出光穿过地球轨道需要的时间长度，从而测定了光速。那时他正与乔万尼·卡西尼在巴黎共事，他得到的结果相当于现代单位的225,000公里每秒。采用地球轨道大小的现代值进行的同样计算则给出298,000公里

每秒；而光速的现代值等于299,792公里每秒。

Roque de los Muchachos Observatory 穆查丘斯罗克天文台，加那利群岛的拉帕尔马岛上海拔2,400米的一座天文台，这是世界最优秀观测台址之一，那里的望远镜分属很多欧洲国家，其中有威廉·赫歇尔望远镜和艾萨克·牛顿望远镜。

ROSAT 罗萨特［卫星］，伦琴射线卫星的德文'Röntgenstrahlen Satellit'的缩略词音译。该卫星是为纪念X射线的发现者威廉·伦琴（Wilhelm Röntgen，1845－1923）而命名的[①]。这是德国、英国和美国合作研制的用于X射线天文研究的卫星，1990年6月发射升空，它首次在波谱的紫外和X射线之间的波段（称为XUV或超紫外波段）进行了全面巡天。

Rosse, William Parsons (Third Earl of) 罗斯，威廉·帕森斯（罗斯伯爵第三）（1800－67），爱尔兰天文学家，曾就读都柏林三一学院，后入牛津大学并于1822年毕业，1822～1834年为议会下院议员，后辞职以求有更多时间从事天文研究。他在爱尔兰中部的家族领地比尔城堡建造了一系列反射望远镜，其中最大的是他称之为'科克城的利维坦[②]'的一具。该望远镜的孔径为183厘米，装在近18米长的镜筒中，镜筒支撑在高15米、相距7米的两根石柱之间。望远镜采用了抛光金属镜面。1845年罗斯开始用利维坦进行观测。虽然爱尔兰的天气不利于天文研究，而且望远镜也不能跟踪天象，但罗斯仍然得到了一些重要结果，包括确立了某些星云具有旋涡结构。他也研究并命名了蟹状星云，指出了行星状星云的环状结构。

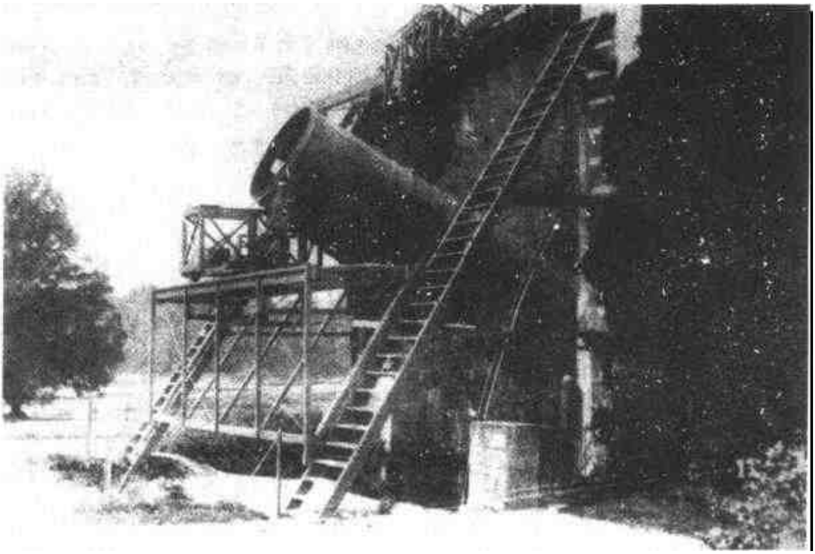
罗斯死后，其子——罗斯伯爵第四——继承了比尔城堡的天文传统，但他于1908年去世后，望远镜就被拆除了。（见362页的图。）

rotation curve 自转曲线，表示盘状星系中恒星运动速率（即恒星绕星系中心运行的速率）如何随它们到星系中心距离而变的图。所有盘状星系的自转曲线有着相同的特有形状。恒星的轨道速率（多普勒效应揭示的）在由中心向外的头几千秒差距内快速增长，然后停止增长并

---

① X射线的发现者伦琴是德国物理学家，他的全名是威廉·康拉德·伦琴（Wilhelm Conrad Röntgen）。X射线也常称为伦琴射线。——译注

② 科克是爱尔兰的海港城市，利维坦是圣经中的巨大海兽（鲸、鳄鱼或蛇，众说不一）。利维坦的转义是巨大有力的东西，此处喻该望远镜威力强大，世无其匹。——译注



罗斯的望远镜。罗斯伯爵第三在1845年建在爱尔兰比尔城堡的72英寸(1.8米)大望远镜。

基本保持平稳直到可见盘体的边缘。这种情形仅当恒星构成的整个盘体处在一个大得多的不可见物质晕的引力控制之下才能得到解释。观测的自转曲线提供了宇宙中存在暗物质的最直接最明确的证据之一。

Royal Greenwich Observatory (RGO) 格林尼治皇家天文台(RGO)，查理二世1675年建在格林尼治的天文台。尽管它搬迁过两次(先迁到苏塞克斯的赫斯特蒙苏，后到剑桥的现台址)，而且它管理的最重要望远镜目前都在海外，但它仍然是负责发展英国光学天文学的主要机构。

RGO的最初目的是处理海上测定经度的问题。对于一个17世纪的海洋国家来说，这是极为迫切的任务。这项工作的一个结果，是通过格林尼治的子午线被1884年的华盛顿会议确定为经度的零点。RGO还在守时方面发挥了重要的历史作用，而在20世纪它也是一个天体物理研究中心。

从RGO创建直到1972年，台

长都被授予皇家天文官称号。1971年理查德·伍利（Richard Woolley）从这双重职务退休后，玛格丽特·伯比奇被聘为RGO台长，但却因某种可耻缘由没有按照传统任命她为皇家天文官。取代她获得这一称号的是马丁·赖尔爵士，而且变成了纯粹的荣誉头衔。皇家天文官从未由妇女担任；迄今全部15任皇家天文官是：约翰·弗兰斯提德、埃德蒙·哈雷、詹姆斯·布拉德雷、纳撒尼尔·布里斯、内维尔·马斯基林、约翰·庞特、乔治·爱里、威廉·克里斯蒂、弗兰克·戴森、哈罗德·斯潘塞·琼斯、理查德·伍利、马丁·赖尔、弗兰西斯·格雷厄姆·史密斯、阿诺德·沃尔芬代尔和马丁·里斯。到1994年底，平均任期接近23年，最长的两任（马斯基林和爱里）各46年。

RGO拥有艾萨克·牛顿望远镜和威廉·赫歇尔望远镜，等等。

Royal Observatory, Edinburgh (ROE) 爱丁堡皇家天文台(ROE)，1818年建立的私人天文台，1822年由乔治四世授予'皇家'称号。它在苏格兰名义上的地位相当于格林尼治皇家天文台，但从未发展到同一规模。1834年划归爱丁堡大学管理，目前负责设在澳大利亚的联合王国施密特望远镜和设在夏威夷的联合王国红外望远镜的运作。

r-process 中子快俘获过程，当有大量中子可供利用时——例如超新星爆发时——通过核合成制造重元素的过程，简称r过程。这里的'r'来自英文的'rapid'，意思是'快'。在r过程中，一个核迅速地连续俘获两个或更多中子。这是比铁族元素更重的元素的形成途径之一（另见s过程；很多同位素可经由这两条途径产生）。通过r过程产生的重核常常不稳定，它们要经过一连串β衰变才变成稳定核。

r过程的关键是，核在来得及通过放出一个电子或其他途径发生衰变之前就俘获了好几个中子。这要求恒星中心的物质密度达到每立方厘米大约含3万亿亿（3×10^{20}）个中子，这就是为什么只有超新星才具备适合r过程的条件，然而超新星的条件是短暂的。少数稳定而略为富含中子的核仅能通过r过程及随后的β衰变产生。r过程中止于一旦形成就立刻经由核裂变而分解的很重的核。

RR Lyrae stars 天琴座RR型星，和造父变星类似、但周期较短的变星。天琴座RR型星的典型周期为9～17小时，是热而年老的巨星，属于星族II，光谱型为A或F，在已知的2,000颗左右这类变星中大约一半是球状星团成员。

Russell, Henry Norris 罗素，亨利·诺利斯（1877–1957），美国天文学家，生于纽约州的奥伊斯特贝。在

对埃希纳·赫茨普隆的工作毫不知情的情况下，罗素独立作出了恒星的绝对星等与它们的颜色之间的关系图。这种图现在称为赫－罗图，罗素的版本是1913年公布的。

Ryle, Sir Martin　赖尔，马丁爵士（1918－84），英国射电天文学家，1972年接替理查德·伍利爵士成为第十二任皇家天文官（也是首位不担任格林尼治皇家天文台台长的皇家天文官），但1982年即辞去了这一职务。赖尔于1918年9月27日出生在苏塞克斯的布赖顿。

赖尔是第二次世界大战后数十年内发展射电天文学的先驱之一，在干涉测量和综合孔径方法的研究中发挥了巨大作用。从牛津大学毕业后，他于1939～1945年在马尔文电信研究所工作，后转入剑桥的卡文迪什实验室。他的全部天文生涯都是在剑桥大学度过的，1959年成为该校第一位射电天文学教授，1966年被封为爵士，1974年因发展射电天文学、特别是综合孔径方法的贡献而获诺贝尔奖。赖尔和与他分享1974年度诺贝尔奖的安东尼·休伊什是荣获诺贝尔奖的头两位天文学家。

赖尔是大爆炸理论的热烈支持者，这导致他和弗雷德·霍伊尔不时发生激烈争吵。他感到高兴的是，对遥远天体的射电天文观测找到了宇宙并非一成不变（见回顾时间）因而简单稳恒态假说不能成立的证据。他在1984年10月14日逝世于剑桥，他在生命的最后10年大声疾呼反对扩散核电站，认为核电站和核武器之间内在联系所包藏的危险超过它们可能带来的利益。

Ryle telescope　赖尔望远镜，英格兰剑桥附近一台采用综合孔径方法的射电望远镜，是以马丁·赖尔的姓氏命名的。该望远镜使用了四个固定的抛物面天线，每个的孔径为13米，另外四个类似天线可在钢轨（英国铁路公司扔弃的一段铁路）上沿一条4.6公里长的基线移动。（见12页的照片。）

S

SAGE 萨奇［实验］，‘苏联－美国镓实验’的英文‘Soviet-American Gallium Experiment’首字母缩略词的音译。萨奇是置于高加索山区一座地下实验室中的中微子探测器，该探测器使用60吨镓。见太阳中微子问题、伽勒克斯实验。

Sagittarius A 人马座A，银河系中心一个强大复杂射电源的最明亮的子源，它可能是一个拥有大约100万倍太阳质量的黑洞所在地。

Sagittarius B 人马座B，位于银河系中心的一个庞大分子云，它可能是被一次大规模爆炸从中心向外推出的一个膨胀物质云的一部分。

Sakharov, Andrei Dmitrievich 萨哈罗夫，安得列·德米特里耶维奇（1921－89），俄罗斯物理学家，1970和1980年代作为苏维埃制度下的持不同政见者而十分著名（他因努力争取签订禁止核试验条约而于1975年被授予诺贝尔和平奖），然而他早先曾经是参与研制苏联氢弹的权威科学家。他对物理学的贡献颇多，其中包括1960年代提出大爆炸中（优先于反物质的）物质形成机理。这一见解当时几乎没有引起人们注意，但却成了1980年代的大爆炸标准模型的基石。

萨哈罗夫1921年5月21日出生在莫斯科，是一位物理教师的儿子。他在1938年入国立莫斯科大学开始攻读物理学，但物理系疏散到了阿什哈巴德，他在那里于1942年毕业。毕业后，他曾在伏尔加河畔乌里扬诺夫斯克的一座兵工厂当了3年工程师。

1945年，萨哈罗夫进入列宁格勒的列别杰夫研究所，1947年以宇宙线研究获博士学位，然后开始研究民用和军用核聚变的实际实现问题、研制过氢弹，建议采用‘磁瓶’来捕捉聚变反应堆中的等离子体。这一建议后来发展成为最有希望的聚变反应堆设计之一，叫做托卡马克。虽然1953年他被选为有史以来最年轻的苏联科学院院士，但1960年代他参加了争取签订禁止核试验条约和争取公民权的运动，因而与当局日益疏远。从1958到1965年他没有发表过任何科学论文。

部分由于蓄意抵制他自己的早期工作，他越来越对无关政治的宇宙学感兴趣；他也研究过夸克理论，并试图提出量子引力理论。萨哈罗夫曾经苦苦思考大爆炸‘以前’发生过什么的问题（他相信宇

宙无限重复的思想，这在暴涨理论的某些版本中得到共鸣)，他也是最早指出宇宙中可能存在我们现在称之为 WIMP 的大量暗物质的科学家之一。

但萨哈罗夫在宇宙学方面的最重要贡献无疑是他对重子不对称性的研究。重子不对称性表现在我们宇宙中的物质是重子形态，而非物质和反物质的等量混合物。令人困惑的是，当地球上的（粒子加速器实验中）能量转化为物质时，每个粒子都伴生它的对应反粒子。例如，'制造'一个电子的惟一办法是必须同时制造一个正电子。但如果大爆炸形成的物质和反物质必须一样多，那么所有粒子和反粒子应该彼此相遇并互相湮灭殆尽，留下的惟有电磁辐射。然而我们是由重子构成的，我们的存在完全是因为大爆炸制造的重子超过反重子，以便湮灭结束后还剩余一点点物质来制造恒星、星系、行星和人。

萨哈罗夫在 1967 年发表的一篇论文中证明，物理定律有微小的不对称性，即在大爆炸的条件下，大约每形成 10 亿个反重子可以形成 10 亿零一个重子。我们就是由这些没有被湮灭的 10 亿分之一的粒子构成的；其余的（连同全部反粒子）都变成了背景辐射。

但这只能在热大爆炸处在冷却过程中（因而具备内在的时间之箭）才得以发生，它和宇宙能量密度下降时四种基本相互作用彼此分离的方式有关（见大统一理论）。萨哈罗夫大大超前于他的时代，他的工作直到 1978 年日本物理学家吉村元彦（Motohiko Yoshimura）独立提出了类似模型才受到应有的注意。萨哈罗夫说明今日宇宙中的物质得以存在所必须满足的要求，是在大统一理论出现前做出的，它不仅是存在热大爆炸的强大理论根据，而且也实际预言（正确吗!）了背景辐射的强度（每一个重子大约有 10 亿个光子），他的这一洞察力是整个宇宙学中最敏锐的洞察力之一，光凭这一点就值得授予诺贝尔奖。虽然萨哈罗夫的全部余生多次回到重子不对称性的研究上来，试图将这一思想加以发展，却不得不在 1970 年代越来越多地分心于更迫切的政治问题。

1980 年，作为取缔持不同政见者的一项举措，萨哈罗夫被流放到高尔基城，他在那里一再绝食，要求当局允许他的妻子叶莲娜·博内尔（Yelana Bonner）出国就医。尽管有这些遭遇以及断绝了和其他科学家的联系，他仍然继续发表重要的宇宙学论文，其中包括对蒸发黑洞的特性（见霍金辐射）和影子物质的本质等问题的研究。1986 年 12 月他被米哈依尔·戈尔巴乔夫释放，又开始了争取公民权的运

动，同时进行宇宙学，特别是重子不对称性起源的研究；1989 年被选为最高苏维埃代表，不久即在同年 12 月 14 日去世。

补充读物：约翰·格里宾著《大爆炸探秘》[16]。

Salpeter, Edwin　萨尔皮特，埃德温（1924－　），美国天体物理学家，1952 年提出碳可能在恒星内部通过叫做三 α 过程的反应由氦加工而成。

Salpeter process　萨尔皮特过程 = 三 α 过程。

Sandage, Allen Rex　桑德奇，艾伦·雷克斯（1926～　），美国天文学家和宇宙学家，在天体物理学的许多领域都有重要建树，但最著名的则是在关于量度宇宙膨胀有多快的哈勃常数值的论战中做出的贡献。

1926 年 6 月 18 日桑德奇出生在衣阿华城，他的父亲长在农家，但却是他们家族第一个受到大学教育的成员，在衣阿华大学获得博士学位并在该校从事经济学研究，所以艾伦·桑德奇在学术氛围中长大。他童年时家住费城，一位校友让他用他的望远镜观天，所以桑德奇从小就喜欢上了天文学。他当即决定要成为天文学家，但他的学业因 1944 和 1945 年在海军服兵役而中断，之后继续在伊利诺伊大学和加州理工学院求学——是加州理工学院招收的第一个天文研究生班的学员。使他对宇宙学发生兴趣的关键因素之一是他当研究生时弗雷德·霍伊尔访问加州理工学院期间讲授的一门课程。

1953 年桑德奇获得博士学位，一年前他还是学生时就已经成为威尔逊山天文台和帕洛马山天文台的正式工作人员，开始在埃德温·哈勃手下当助手，以后终生在那里工作。哈勃死后，桑德奇继承了测量宇宙中遥远天体距离的任务，测定了宇宙膨胀的速率。除了天文台的职责外，他在 1987～1989 年还兼任约翰·霍普金斯大学的物理学教授。

桑德奇曾参与 1960 年第一个类星体的光学证认（用帕洛马山天文台的海尔望远镜精密测定射电源 3C 48 的位置）和 1960 年代中期射电宁静类星体（现在知道要比射电活动类星体多得多）的发现。他关注宇宙的最终命运，曾一度赞同振动宇宙模型的主张。他和古斯塔夫·塔曼一道，对哈勃常数的测量数据进行了长期深入的分析，得出其数值接近（甚至可能低于）50 公里每秒每百万秒差距的结论；然而，吉拉德·德伏古勒领导的另一学派分析了完全相同的数据后，断言哈勃常数值至少达到 80 公里每秒每百万秒差距。确定哈勃常数的真值今天仍然是宇宙学的首要目标之一。

在以后的科研生涯中，桑德奇开始关心视界问题，1980 年代末将它称为‘［宇宙学领域］最重要

的问题'；他认为，COBE 卫星发现的背景辐射涟漪，在暴涨思想的提出和膨胀宇宙原始涨落如何演变成星系之谜的解决中起了决定性的作用；在他看来，宇宙学中剩下的突出问题是密度参数值的测定和暗物质的本质。

补充读物：艾伦·莱特曼和罗伯塔·布拉维著《起源》[49]。

Sanduleak -69° 202　桑达利克 -69°202，见超新星 1987A。

satellite (artificial)　人造卫星，发射到围绕地球或其他天体的轨道上的任何人造天体；常省略'人造'二字而简称卫星。第一颗人造卫星是 1957 年 10 月 4 日苏联发射的斯普特尼克 1 号；它的重量为 84 千克，沿轨道运行 92 天后在地球大气中烧毁。很多人造卫星用于商业和环保目的（通讯卫星、气象卫星等等）或军事目的（比如拍摄无法通过其他途径进入的地区的军事活动照片）。发射人造卫星的全套技术是在冷战时期从向地球任何地点投射核武器的火箭技术发展而来的。

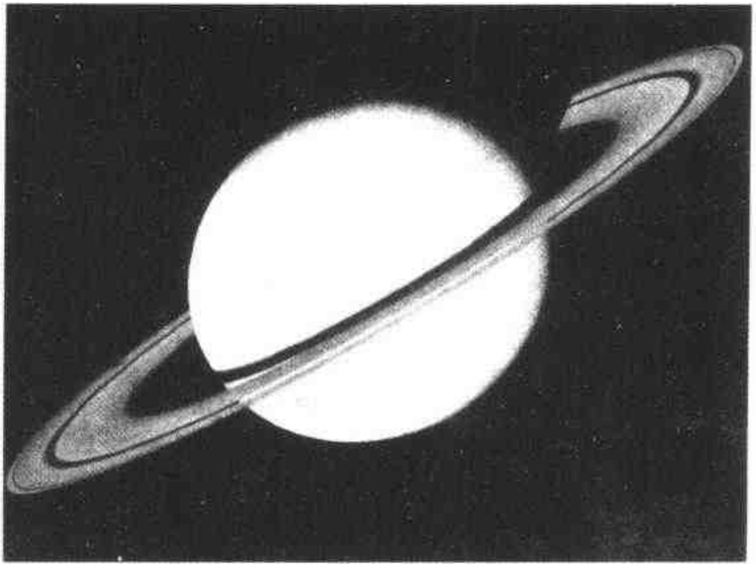
科学卫星和空间探测器用于获得有关太阳系的太阳和行星的信息，以及在不能穿透大气到达地球表面的电磁辐射波段进行天文观测，其中包括红外及微波观测（比光的波长更长），和波长比光越来越短的紫外、X 射线及 γ 射线观测。这些天文卫星改变了我们对宇宙的认识，特别是它们证明了宇宙是一个比我们原来想像的要激烈得多的场所。

satellite (natural)　天然卫星①，见卫星（moons）。

Saturn　土星，从太阳往外的第六颗行星，是四颗巨行星之一，小于木星而居第二位。土星的直径（赤道上）是地球的 9.4 倍，质量是地球的 95 倍，这说明它的平均密度只有水密度的 70%。土星拥有非常突出的环系和至少 20 颗卫星，可能还有更多卫星将被发现；它与太阳的距离为 9～10 天文单位，每 29.46 年公转一周。

---

① 英文'satellite'的最通常意思是'随从'、'附属品'等等。用于天体名称时，中文译为'卫星'，专指绕行星运动的天体，如月球。但本条目原文将行星看成是恒星的'satellite'，甚至星系也可能成为另一个星系的'satellite'，道理虽然不错，且在英文表达上亦无不可，但却无法照此直译成中文，因为中文的'行星'一词十分明确，就是绕恒星运动的天体，再用'卫星'称呼它们，反而会引起混乱。至于绕另一个星系运动的星系，中文用'伴星系'称呼它们，自然而贴切，放到'卫星'条目中来岂不别扭！所以，根据中文'卫星'一词的明确含义，决定将本条目原文内容略去，并请读者参阅另一叙述十分全面而清楚的'卫星'条目。——译注



土星。旅行者1号摄于1980年，除著名的土星环系外，它的三颗卫星亦刚刚可见。

scalar field **标量场**，只有数值而不具备方向属性的场。表示房间内各点空气温度的场是常见的标量场。显然，这个场'充满了'房间——每一点都有一个对应于温度的数。[1]

Schiaparelli, Giovanni Virginio **斯基帕雷利，乔万尼·维吉尼奥**（1835－1910），意大利天文学家，1835年3月14日生于皮埃蒙特的萨维格连诺，以火星研究著称于世。1877年他将火星表面的独特结构称为'canali'，被人误译为英文的'canals（运河）'（意大利文'canali'本意是'线条'），从而引起人们纷纷猜测火星上可能存在智能生物，并促使珀西瓦·洛韦尔从事天文研究。空间探测器（特别是海盗号系列）拍摄的照片表明，火星表面的线条乃广阔的天然水系，大概是很久以前当

① 原文以下部分对标量场的解释不够准确，无助于读者理解标量场，且易引起概念混乱，故删去。——译注

火星尚拥有较厚大气时存在过的水流冲刷而成；现在基本上成了完全干涸（要多久才完全干涸！）的河床。

斯基帕雷利曾在意大利、德国和俄罗斯接受教育，1860 年回到米兰天文台工作，1862 年就任该台台长。他发现了一颗小行星（赫斯佩里亚，1861 年），证明表现为流星的天体是在与彗星相同的轨道上绕太阳运动，他还对火星以外的其他行星进行了很重要的研究。1900 年退休后，他广泛研究了巴比伦人和希腊人的天文学，以及圣经上的和中世纪的天文学。他在 1910 年 7 月 4 日去世。

Schmidt, Bernhard Voldemar　施密特，伯恩哈德·伏尔德马（1879－1935），1930 年发明施密特照相机的爱沙尼亚光学家。

Schmidt, Maarten　施密特，马登（1929－　），出生于荷兰的美国天文学家，是用大红移解释类星体（3C 273）反常光谱的第一人。

Schmidt camera　施密特照相机，主要用于拍摄天空照片的一类光学望远镜——实际上是一种广角照相机。这种望远镜是爱沙尼亚人伯恩哈德·施密特在 1930 年发明的。它的主镜是球面镜，而为了改正球面镜单独使用时必然引起的显著像畸变，施密特在望远镜的前方放置一块透明薄‘板’（具有复杂面形的透镜），使得入射光在到达主镜之前发生的变化正好能抵消主镜引起的畸变，最后成像在一个可以放置感光软片的弯曲表面上。

最后达到的效果是在几十平方度的视场内具有极佳的成像性能——我们很熟悉的一具改正板孔径 1.2 米（48 英寸）的施密特照相机覆盖的天区达到 40 平方度。传统反射望远镜的有效视场能够覆盖半度天区，大约等于从地球看到的月球大小；而施密特照相机的视场可达 16 度，超过月球角直径的 30 倍。这就使得施密特照相机在全天空普查工作中最为有用，它拍摄的每张底片上有数百万个天体的像，是照片形式的天体表，可用宇宙测量仪之类的仪器进行研究。使用传统抛物面主镜的望远镜在视场中心的成像质量更好，但却无法同时将一个宽视场内的全部天体聚焦，所以每当一个有趣的天体（比如类星体）用施密特底片或其他方法证认出来，就该由传统反射望远镜发挥其职能了。

Schwarzschild, Karl　史瓦西，卡尔（1873－1916），德国天文学家，1873 年 10 月 9 日生于法兰克福，他求出了阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的一个解，能够描述我们现在所称的黑洞。

史瓦西求学于斯特拉斯堡大学和慕尼黑大学，曾在维也纳的库福

纳天文台工作，1901年赴格廷根大学。一年后，他成为该大学天文台的台长，并在年仅28岁时被任命为全职教授。1909年应聘为波茨坦天体物理台的台长。

史瓦西是率先发展了天文照相技术的熟练观测者；他是能将他在工作中的兴奋激动之情传达给非科学家听众的科普讲演家；他也是有才能的数学家，在爱因斯坦提出广义相对论之前就参与讨论过空间可能具有非欧几何性质。

虽然他在波茨坦的职位是可靠的，年过40的史瓦西却在第一次世界大战开始时志愿服兵役，他先在法国和比利时当技术专家，后调往东部战线。他在那里患上了皮肤病——当时无法治愈的天疱疮，被作为伤病员而离开了军队，1916年5月11日在波茨坦逝世。但是，甚至在俄罗斯服役期间，史瓦西仍然保持着同德国科学发展的联系，并撰写了好几篇重要的论文，其中包括爱因斯坦方程式的史瓦西解。他简直就是在临死前的病榻上完成了这项他寄给爱因斯坦的研究成果，在史瓦西离世数月前的1916年1月16日和2月24日，爱因斯坦在柏林向科学院会议宣读了这两篇论文。

Schwarzschild, Martin 史瓦西，马丁（1912－ ），德国出生的美国天文学家，卡尔·史瓦西的儿子。马丁·史瓦西1912年5月31日生于波茨坦，1935年获格廷根大学天文学博士学位，不久后移民美国。他的主要研究领域是恒星结构和恒星演化，包括脉动变星的本质。他的专著《恒星的结构和演化》（普林斯顿大学出版社，1958年）是几代大学生的标准课本。

Schwarzschild black hole 史瓦西黑洞，无自转、无整体电荷、数学上由史瓦西度规描述的球状黑洞，是阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的史瓦西解。这是最简单的可能存在的黑洞类型。

Schwarzschild limit 史瓦西极限，拥有给定质量的物体不至于坍缩成为黑洞所能达到的最高密度。物体越大，其史瓦西极限越低。对于太阳，史瓦西极限是水密度的10^{16}倍；但对于1亿倍于太阳的质量，这一极限则等于水密度。

Schwarzschild metric 史瓦西度规，描述最简单形式黑洞即史瓦西黑洞近旁时空的度规。卡尔·史瓦西1915年得出的这种度规实际上能描述任何球状质量团块近旁的时空。另见克尔度规、罗伯森－沃克度规。

Schwarzschild radius 史瓦西半径，一个黑洞周围甚至连光都无法从其内部逃出去的视界的半径。这本质上就是逃逸速度等于光速的地点与黑洞中心的距离，它由公式 $R=$

$2GM/c^2$ 给定，其中 G 是引力常数，M 是黑洞的质量，c 是光速。

Schwarzschild solution 史瓦西解，见史瓦西黑洞。

scientific notation 科学记数法，为了避免书写很大或很小的数时出现一长串零，科学家采用数学习惯将零的数目表示成'10的幂'。所以，100可写成 10^2（意思是'1后面跟两个零'），0.001 可写成 10^{-3}（'小数点后跟两个零和一个1'）。当我们同 10^{30} 和 10^{-26} 这样的数打交道时，就要用到这种习惯记数法。像326这样的数也可以写成 3.26×10^2（$=3.26\times100$），依此类推。

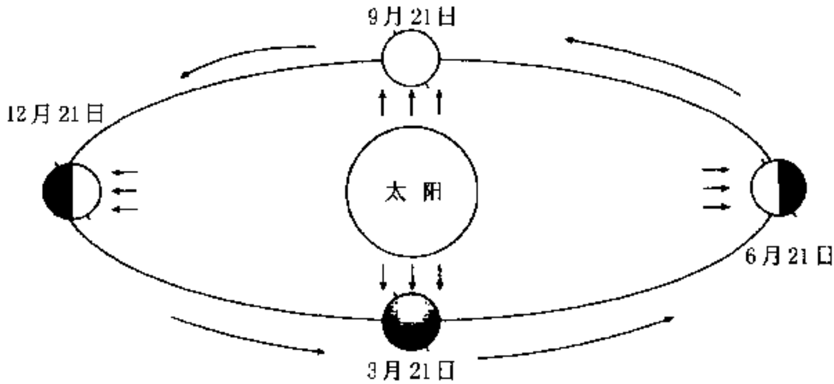
scintillation 闪烁，星星'眨眼'现象的学术词汇。发生闪烁是因为地球大气好像一个变化的透镜，来自恒星的光通过大气时被无规则地折射。对于肉眼，闪烁主要表现为恒星亮度的迅速变化，但用望远镜则能看出星像似乎在跳舞，所以长时间曝光照片上的恒星显得模糊不清。

射电波通过地球大气电离层，或通过行星际和星际空间的电离物质云时，也会发生类似性质的畸变。乔丝琳·贝尔就是在使用专为研究射电源的这种快速闪烁而设计的射电望远镜时发现了脉冲星。

Scorpius X-1 天蝎座 X－1，最先发现的（1962年用火箭运载的探测器）、也是全天空最强的X射线源，是我们银河系中X射线源的典范。这一发现虽属意外——探测器是为了搜寻太阳粒子撞击月球时产生的X射线而设计的——却成了表明宇宙中存在今天已是司空见惯的暴烈活动的最早迹象之一。

1967年，天蝎座X－1被证认为一颗名叫天蝎座V818的黯淡变星。剑桥的两位理论家保罗·费尔德曼（Paul Feldman）和约翰·格里宾，根据对该星光度变化的分析，证明它是一颗周围有吸积盘的中子星。这一结果，连同脉冲星的发现，成为中子星存在的最早的直接证据之一。较新的观测表明，吸积的物质来自一颗每0.78天绕X射线星运行一周的伴星。天蝎座X－1和我们的距离仍然未能准确测定，大概在300～600秒差距之间。

seasons 季节，地球相对于它绕太阳公转轨道平面的倾斜引起地球上天气的规则变化。从北极到南极通过地球的一根假想直线，与地球轨道平面（黄道）的垂线之间有一个23.45°的角。结果，在轨道的一边地球的北半球偏向太阳，而在轨道的另一边（6个月之前或之后）则是南半球偏向太阳。当在某个半球看到太阳高高升起在地面之上，那就是该半球的夏季，与此同时另一半球则是冬季。冬夏之间的季节叫做春季和秋季。天气随季节的变化



季节。由于地球的倾斜，抵达北半球和南半球的太阳热量随着地球绕太阳运动而逐日变化。

在高纬度区比较明显；赤道带感受到的季节变化很小。

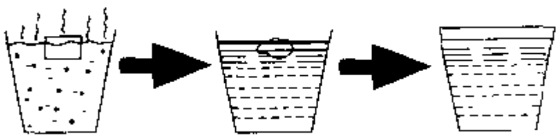
其他相对于轨道垂线有倾斜的行星也有季节变化，其中包括倾斜角与地球相近的火星。太阳系中季节变化最大的是天王星，它简直是'侧面'躺着滚动，所以它绕太阳公转时，它的北极和南极交替地几乎直指太阳。

second 秒，时间单位，定义为与铯-133原子能级发生的特定量子变化相对应的电磁辐射振动9,192,631,770次的时间长度。

second law of thermodynamics 热力学第二定律，声称凡事物必耗损的自然定律。热力学第二定律的一种表述是，热不可能自发从冷物体流向较热物体。将一块冰放进一杯温水中，因为热从水流入冰块，所以冰块融化，结果变成一杯比原来稍凉一点的水。你永远不可能在一杯水中看到热量从凉的地方流向较热的水而自发形成冰块。冰块仅当通过消耗能量将热抽取掉才能制成（例如在家用冰柜中）。热力学第二定律的另一种表现是，一所长期无人照料的房屋将在风雨侵蚀下破碎，而一堆无人照料的砖则永远不可能自发地变成一所房屋（见时间之箭）。

亚瑟·爱丁顿在其《物质世界的本质》一书中说道：

> 我认为，在自然定律中，热力学第二定律占据着最高地位。如果有人跟你说你心爱的理论与麦克斯韦方程式不符——那么可能麦



热力学第二定律。热总是从较热的物体（沸腾的水）流进较冷的物体（冰块）。这是时间之箭的另一种表现。

克斯韦方程式就是那么差劲。如果它与观测结果矛盾——那好，观测者确实有时候把事情搞得一团糟。但如果你的理论被发现违背热力学第二定律，那就没有希望了；我们救不了它，只能让它在深深的羞愧中垮台。

热力学实际上有三条定律，我们可以像总结生活和天地万物那样将它们义译为：1. 你不可能赢；2. 你甚至不可能不输不赢；3. 你不可能从这场游戏中脱身。

second quantization **二次量子化**，见场方程式。

self-sustaining star formation **自我维持恒星形成**，超新星爆发的冲击波触发恒星形成新高潮从而维持盘状星系中旋臂图案的过程。

semi-detached binary **半接双星**，见等势面。

semi-detached system **半接系统** = 半接双星。

SETI **塞提［计划］**，'搜寻地外智能'的英文'Search for Extraterrestrial Intelligence'首字母缩略词音译，系从早期的 CETI（Communication with Extraterrestrial Intelligence = 与地外智能通讯）演变而来，因为有些人（特别是美国掌管科研拨款的政治家们）对真正同我们的宇宙邻居（如果存在的话）交谈的想法感到恐惧；最好是暗中监视他们而不让他们知道我们在这里。

这一'暗中监视'就是至今未获成功的偷听其他文明世界发送的可能到达我们这里的无线电波——或是蓄意发射的希望与银河俱乐部新成员建立联系的信号，或是与我们地球上的广播电视类同的常规信号。原始 CETI 计划还包括有限的几次试图用阿雷西博射电望远镜向遥远恒星发射信号束（读到这里的任何可能对其后果表示担忧的政治家可以放心，这些信号将经过几千年才到达目标恒星）。由美国宇航局实行的一项 CETI 现行计划是用巨大射电望远镜在正规天文观测之间的空闲时段，通过一台尖端电脑倾听宇宙深处的信号。

Seyfert **赛弗特星系**，活动星系的一类，是用 1943 年最早注意到它们的美国天文学家卡尔·赛弗特（Carl

Seyfert, 1911－60）的姓氏命名的。赛弗特最初对12个旋臂勉强可见的盘状星系的研究表明，这些星系外区的亮度低于带蓝色的明亮中心区，而从它们光谱中谱线的多普勒效应分析得知，这些星系中心区存在以数百甚至数千公里每秒的速率运动的热气体云。这在当时是令人惊奇的崭新发现。赛弗特星系在宇宙等级分类中的地位要很久以后发现了类星体和蝎虎座BL型天体之后才弄明白。赛弗特在1960年6月13日去世，未能亲眼看到这些发现。

现在已知的赛弗特星系超过150个，它们的突出特征是有极为明亮的中央核，其他方面则与正常形态的盘状星系相同。除可见光外，它们还发射大量红外辐射，以及X射线和紫外辐射，但它们在射电波段一般不太强。赛弗特星系的亮度（在上述整个广阔波长范围内）以几个月的时间尺度变化，说明它们的能量来自一个大小不超过几光月的区域。它们很像规模较小的类星体（能量大约只有类星体的1%），而且几乎肯定其能量是物质通过吸积盘向一个大质量中央黑洞下落时提供的。

今天，已经发现全部大盘状星系的大约10%显示赛弗特星系那样的活动特征，这可能暗示全部大盘状星系（包括我们的银河系）在其一生的10%时间内表现为赛弗特星系（也可能是短期活动的多次重复）。

shadow matter　影子物质，在引力和其他基本相互作用分离时（刚刚在普朗克时间以后）的极早期宇宙中可能形成的一种假想形态的物质。根据超对称性理论的某些版本，当发生这种情况时，宇宙中的部分能量最终变成我们今天所知形态的粒子（包括构成我们身体和恒星的重子物质），其余的则变成完全独立的另一组粒子，它们除了同样感知引力作用外，与我们的粒子没有任何共同之处。你可以径直穿过一个影子人，而你和影子人都不会注意到对方。

没有理由认为，这两类物质形成时数量相等，而影子物质能够说明某些宇宙模型要求的全部暗物质。反之，两个物质世界之间可能存在镜像关系，即影子电子、影子质子和影子中子构成了一个包含影子恒星和影子星系的宇宙，而且这个影子宇宙中甚至还有它自己的影子暗物质（也许是影子轴子）。遗憾的是，影子物质理论过于含糊，把它看成梦中所见的科幻式可能性尚可接受（至少不必加以禁止），以致能毫无困难地剪裁缝制影子材料以适应任何心爱的宇宙模型。宇宙学家并未认真对待这一思想。

shadow universe　影子宇宙，认为有

一个由影子物质构成的、除通过引力外无法探知的完整的宇宙与我们的宇宙共存于同一时空中的推测性思想。在存在影子宇宙这种极其不可能的情况下，一部分短缺质量可以得到解释。

Shapley, Harlow　沙普利，哈罗 (1885－1972)，美国天文学家，生于密苏里州的纳什维尔，1910年代他在威尔逊山天文台工作时，利用球状星团中变星的观测，准确测绘出银河系的结构和大小。1921年沙普利就任哈佛大学天文台台长，任期长达31年，将哈佛建成为优秀的天文研究中心。

shepherd moons　守护卫星，与类似土星环的环系并行运动并以其引力维持环系稳定结构的小卫星的一种称呼。

Shklovskii, Iosif Samuilovich　什克洛夫斯基，约瑟夫·萨姆伊洛维奇 (1916－85)，苏联天体物理学家，在有关可能存在地外生物的辩论中极为活跃，1953年最早提出蟹状星云的射电波和X射线均产生于同步加速辐射，他也预言了天文脉泽的存在。

shooting star　射星，见流星。

sidereal time　恒星时，利用地球相对于恒星的自转量度的时间。由于地球在绕太阳的轨道上运动，如果一恒星日（地球自转一周的时间）准确定义为24小时，则全年平均的由正午到次日正午的时间将是24小时3分56.55秒。

Siding Spring Observatory　赛丁泉天文台，澳大利亚从事光学天文研究的中心天文台，它的主要望远镜包括3.9米英澳望远镜、2.3米反射望远镜、联合王国施密特望远镜和属于瑞典乌普萨拉天文台的50厘米施密特照相机。见斯特罗姆洛山及赛丁泉天文台。

singularity　奇点，我们熟知的物理学定律失效的地点。奇点一般被看成点，但原则上它们可以取一维的线或甚至二维的膜的形式。按照广义相对论的方程式，只要形成了一个无自转的史瓦西黑洞，该黑洞视界内部的物质必然在引力作用下塌陷成一个密度无穷大的点，即奇点（见彭洛斯，罗杰）。宇宙从大爆炸开始的均匀膨胀就是这种黑洞坍缩的镜像反转，意味着宇宙诞生在一个奇点中。

在以上两种情况下，方程式都没有考虑量子理论。当我们处理的物体小于普朗克长度，或时间短于普朗克时间时，已知的物理学定律，包括广义相对论，看来真会失效。这意味着，在那样的尺度上，合情合理的设想将是，向奇点坍缩的物质受到量子过程的影响，有可能‘反弹’而转为向外膨胀到另一组维度中去。有人主张，大爆炸‘奇点’实际上就是这样一种反弹。

加州理工学院的理论物理学教授基普·桑尼把量子奇点说成是引力将空间和时间彼此'分离'的地方,然后再将时间概念和空间明确性——破坏,留下来的是一个任何东西都可能从中出现的'量子泡沫'(《黑洞和时间翘曲》[19],476~477页)。奇点——尤其是与自转黑洞和裸奇点(如果存在的话)相关联的奇点——甚至可能容许实现时间旅行。另见婴儿宇宙。

Sirius 天狼[星],全天空最亮的恒星,又名大犬座α(此名称说明该星在大犬星座)。天狼星是双星系统,其中一颗白矮星(最早发现的白矮星,见天狼B)环绕主星(天狼A,即最亮的那颗)每50年运行一周。天狼星的距离为8.7光年,在离太阳最近的恒星中居第七位。

Sirius B 天狼B,与全天空最亮的恒星——天狼星——组成双星系统的一颗黯淡白矮星。德国天文学家弗里德里希·贝塞耳(Friedrich Bessel,1784–1846)在1830年代到1840年代初进行的研究表明,天狼星'两边摇摆'的规则运动可用一颗每50.09年绕天狼星运行一周的伴星的引力影响来解释。这颗伴星被美国的望远镜制造者阿尔万·克拉克(Alvan Clark)于1862年发现,他将正在测试的一具新望远镜指向天狼星,就看见了那颗伴星。这颗伴星是如此黯淡,如果它和我们之间的距离与太阳一样,那么它的亮度将只有我们看到的太阳亮度的1/400。

尽管它十分黯淡,但双星系统的精密轨道却表明,天狼B的质量必须达到太阳质量的大约90%(天狼星本身的质量刚刚超过两倍太阳质量)。一直到19世纪末,天文学家一致认为天狼B的大小必定与太阳相近,但较暗和较冷。然而在1915年,当天狼B离天狼A最远时(当然是从地球上看),美国天文学家瓦尔特·亚当斯(Walter Adams,1876–1956)得到了它的光谱,证明天狼B实际上和天狼星本身一样热。要能够既热且暗,它就必定很小——只比地球大一点点。就这样发现了第一颗白矮星。

size of the Universe 宇宙大小,见宇宙距离尺度。

Slipher, Vesto Melvin 斯里弗,维斯托·梅尔文(1875–1969),美国天文学家,出生在印第安那州的马尔贝里,是发现我们现在所称星系的光显示红移现象的第一人。这项一直进行到1925年的工作,为埃德温·哈勃发现宇宙膨胀铺平了道路。斯里弗工作于洛韦尔天文台,1926~1952年任该台台长,1920年代末成功地策划了冥王星的搜寻。

Small Magellanic Cloud 小麦哲伦云,见麦哲伦云。

SMC　小麦云 = 小麦哲伦云。

Smith, Sir Francis Graham　史密斯，弗兰西斯·格雷厄姆爵士(1923－　)，英国天文学家，1923 年 4 月 25 日生于萨里郡的鲁汉普顿。他曾在剑桥的唐宁学院学习，但因参与马尔文电信研究所的军事工作而中断了学位课程，所以迟至 1946 年才毕业，1952 年以其在卡文迪什实验室的射电天文研究被授予博士学位。

在美国首都华盛顿的卡内基基金会工作一年后，史密斯回到剑桥从事射电天文研究直到 1964 年，然后到焦德雷班克工作了 10 年。1974 年他转到格林尼治皇家天文台（那时在苏塞克斯郡的赫斯特蒙苏），次年兼任附近苏塞克斯大学的客座天文学教授。1976 年，史密斯成为任格林尼治皇家天文台台长的第一位射电天文学家，他在现已成为穆查丘斯罗克天文台的台址选择及其早期发展中发挥了重要作用。1981 年返回焦德雷班克任台长，1982 年被任命为接替马丁·赖尔爵士的皇家天文官，成为 1971 年以来既是 RGO 台长又是皇家天文官的第一人（也是至今仅有的一位），尽管他并非同时保有这两个职位。他于 1990 年辞掉了皇家天文官职务。

除了在发展诸如干涉测量等射电天文方法中发挥关键作用并在行政管理方面表现才干之外，史密斯也对脉冲星和星际空间磁场的研究做出了重要贡献。

Smithsonian Astrophysical Observatory　史密松天体物理台，美国马萨诸塞州剑桥的一座天文台，1890 年由史密松学会初建于首都华盛顿，1955 年迁到哈佛，1973 年与哈佛大学天文台（建于 1839 年）合并成哈佛－史密松天体物理中心，常简称为 CfA（= Center for Astrophysics）。

SN 1987A　SN 1987A，见超新星 1987*A*。

solar constant　太阳常数，每秒钟[①]通过一个以太阳为中心、地球轨道半径（严格说应为 1 天文单位）为半径的球面上每平方米面积的太阳能量。现今采用的数值是 1.367 千瓦每平方米；然而最有趣的是太阳常数可能并非真正的常数。

同一般电炉的功率（通常至少有 1 千瓦）相比，1.37 千瓦听起来并不算多。可这是每秒钟通过与地球一样远离太阳的一平方米面积的能量——就好像用相隔 1 米多的大量电炉完完全全把太阳包围起来。它能够在 2 小时 12 分钟内将围绕太阳的一个半径 1 天文单位、厚 1

① 原书忽略了‘每秒钟’。——译注



太阳活动周。将太阳活动周不同阶段黑子的形成位置画出来而得到的蝴蝶图示意。每个活动周内，黑子先出现在高纬度，然后越来越接近赤道。一个活动周的新黑子在前一活动周最后的黑子仍然存在时就开始出现。整个图像大约每11年重复一次。

英寸（2.5厘米）的完整球形冰壳融化掉。设想这个冰壳向内朝着太阳收缩，它的面积将越来越小，厚度越来越大，而冰的总量不变。当冰壳的内表面接触太阳时，假想冰层的厚度将超过1公里——而它也将在那样短的时间内融化。这一巨大的能量输出已经几乎不变地持续了几十亿年。

几乎不变，但并非完全不变。一颗像太阳这样的恒星在其漫长一生中的能量输出略有增加，相应的太阳常数从太阳形成以来的大约40亿年里可能要增加25%（见恒星演化）。我们今天不必担心如此缓慢的变化。然而太阳常数的变化即使不到1%，也将影响地球上的气候；粗略地说，太阳能量输出变化1%，相当于地球上的平均温度变化摄氏1~2度。有人认为，极端气候，如17世纪的小冰期事件（见蒙德极小期），可能是某种温和的、与太阳直径每百年改变约0.01%有关的变化所引起。

solar cycle　太阳活动周，太阳活动水平的非严格周期性变化。太阳活动周的最显著特征是日面上看到的太阳黑子数量的变化。在长约11年的时间内，黑子数可以从一个峰值慢慢变小然后达到另一个峰值，这个11年左右的活动周叫做太阳黑子周；然而，太阳的磁场却每经历一个黑子周后反转，所以大约要22年才回复到起始状态。这个22年左右的磁活动周才是真正的太阳活动周，它又叫做双重太阳黑子周，偶尔也称为海尔周。太阳黑子周的长度相差很大（短至8年，长至13年），强度（用沃尔夫太阳黑子数表示）也很不同。单个太阳黑

子有的很大——1947年4月的一个黑子创下了最高记录，它在太阳表面覆盖的面积超过180亿平方公里，不过即使一个普通太阳黑子也超过1亿平方公里。

最早测量太阳活动周长度的是德国化学家和天文学家塞缪尔·施瓦贝（Sanuel Schwabe，1789－1875），他在1843年宣布他发现了太阳黑子的10年活动周。这一宣布没有引起什么注意，直到1851年才由德国探险家弗里德里希·冯·洪堡（Friedrich von Humboldt，1769－1859）在他的《宇宙》一书中宣传了太阳黑子周的这一发现；之后不久，鲁道夫·沃尔夫（Rudolf Wolf）进行了他对活动周的首次研究，得出了11.1年的周期。

在一个太阳黑子周内，活动上升到极大比随后的衰减更快，大致上，上升到极大的时间大约4.5年，随后衰减到极小的时间大约6.5年。太阳黑子多成群出现；虽然单个小黑子的存活时间可能不到一天，但大黑子群可以存留几个月，而一个典型黑子群持续时间短于太阳的自转周期（一个月左右）。开始时，太阳黑子出现在两个半球的30°到45°之间的较高纬度；但随着太阳表面活动的增强，新黑子也在其他纬度形成，而且越来越靠近赤道。在太阳活动的极大时期，很多纬度上都有黑子。然后，随着活动的衰减，黑子不再出现在高纬度，到活动处于低谷时则只出现在赤道附近纬度7°左右的地方（从来不正好出现在赤道线上）。这个时候，下一个活动周的第一批黑子可能已经在高纬度出现了。活动极大期持续时间很短，一般不超过一年；活动极小期，或宁静太阳阶段，可延续2～3年以上。

太阳活动的这一图像被认为与太阳外层较差自转引起太阳磁场的'缠绕'有关。较差自转使赤道带自转得比高纬度带快，赤道每26天自转一次，而太阳表面纬度30°的地方则要31天才能完成一次自转。太阳外层的带电物质（等离子体）拖着磁场随它打转，使靠近赤道的磁场卷得更紧，直到有点吃不消了，于是磁力线断裂并重新连接而使整体磁性反转。对太阳活动的这一解释大致讲得通，但过程的详情仍然不清楚。

太阳黑子周只是太阳活动水平变化的一个方面。其他方面还有，比如，太阳活动较强时，太阳耀斑也比较多；太阳黑子较多时，太阳风也较强。由于太阳风对宇宙线的影响（太阳风较强时，在一定程度上可屏蔽地球免受宇宙线轰击），这意味着太阳活动周直接影响地球大气中每年产生的放射性碳（碳－14）的数量。这些放射性碳进入生物体，特别是每年保存在树木新年

轮之中，而古老树木年轮中的碳－14含量可用来重建过去的太阳活动变化。其他由宇宙线产生并保存在两极冰盖中的放射性同位素，也使天文学家得以推测远在有记录之前的太阳活动水平。

还有人提出，太阳活动的变化也影响地球上的气候。总体上，太阳活动较强时地球的变暖看来是真实的（见蒙德极小期）。这些看法虽然尚有争议，但在平静湖泊底部年复一年沉积而成的古老地质构造中，已经找到了似乎是太阳活动影响地球气候的证迹。以上观点得到了雨云7号及其他气象卫星从1980～1991年的整个太阳活动周内获得的太阳观测数据的支持。这些数据表明，太阳活动极小期到达地球大气顶部的太阳热量，要比极大期小0.3%。

单个太阳活动周长度（用沃尔夫数量度）的变化可能具有周期性，因为有迹象显示太阳活动总水平具有大约76年和180年'超周期'的调制。科罗拉多州博尔德高山天文台的罗纳德·吉利兰(Ronald Gilliland)在1980年代初对收集到的全部太阳半径测量数据进行的详细分析表明，所有这些变化以及太阳活动周对气候的影响，都可能与太阳像呼吸那样一胀一缩引起半径发生微小的规则变化有关。历史记录只追踪到1715年，而得到的证据还未被所有天文学家接受，但吉利兰的结果显示，太阳具有一种周期76年、胀缩幅度约140公里（只有太阳半径的0.02%）的规则变化，以及一种延及整个活动周的更小的振动。

在以上两种情况下，当太阳比较大时，黑子都比较少。1970年代末和1990年代初的太阳活动高峰均与这一规律相符，因为当时正好是76年周期中太阳最小的时候；如果吉利兰是对的，那么21世纪初的下一次太阳活动高峰将不会那么显著。

新一轮太阳活动周的首批黑子已经在1995年8月出现。

solar day **太阳日**，见地球。

solar eclipse **日食**，见食。

solar flare **太阳耀斑**，见耀斑。

solar luminosity **太阳光度**，太阳的光度，等于 3.826×10^{26}焦耳每秒。太阳光度常用作天体光度的单位，所以恒星或星系的光度可以表示为太阳光度的多少多少倍。

solar mass **太阳质量**，太阳的质量，等于 1.9891×10^{30}千克。太阳质量常用作天体质量的单位，所以恒星或星系的质量可以表示为太阳质量的多少多少倍。

solar neutrino problem **太阳中微子问题**，地球上的中微子探测实验发现的太阳中微子数量没有太阳内部核聚变反应产能标准模型（标准天体

物理学）所预期的那么多这样一个事实。

我们从观测中或多或少得到了有关太阳中微子的知识，应归功于理论天体物理学家约翰·巴科和实验家雷·戴维斯这两位热心人。1956年仅仅在实验室中肯定观测到了中微子，到1950年代末还看不到建造可探测太阳中微子的探测器的前景，与此同时，建造这种探测器的理由似乎也不充分，因为根据标准太阳模型，‘人人’都知道应该能够探测到多少中微子，然而巴科和戴维斯却认为值得一试。

确实值得一试，因为到达我们这里的中微子是来自太阳的核心部位，而不是来自表面。可是我们接收到的所有其他太阳辐射却是来自太阳的外层，在日震学得到发展之前，中微子提供了‘窥视’太阳深部的惟一希望。即使利用日震学，天文学家也是通过表层的观测来推测太阳内部发生的事情；中微子天文学旨在探测真正产生于核聚变反应发生地点的粒子，因而具有打开一扇直接通向太阳中心的窗口的潜在可能性。这样产生的中微子能够无阻碍地穿透太阳，越过空间，然后又无阻碍地穿透地球；困难在于，除极少数外，几乎全部中微子也将毫无阻碍地穿透为捕捉它们而设计的任何探测器。

由于很多其他粒子，如宇宙线，能够触发任何灵敏度足以俘获中微子的探测器，也由于中微子本身能够基本上毫无阻碍地穿透地球，所以建造太阳中微子探测器的地方不应该是高山之巅（如传统望远镜），而是有密实岩层屏蔽掉宇宙线的深矿井之底（见中微子天文学）。1964年初，戴维斯探测器被安放在南达科他州雷德市地面下1,500米深的霍姆斯泰克金矿内，为此不得不挖去大约7,000吨岩石以容纳探测器——一个大小如奥林匹克运动会游泳池、盛有400,000升通常用于干洗处理的全氯乙烯（C_2Cl_4）的容器。

巴科和戴维斯论证后认为，干洗剂中的氯原子可用来捕获太阳中微子。地球上全部氯原子的大约四分之一是同位素氯-37。每个全氯乙烯分子含四个氯原子，所以每个全氯乙烯分子中有一个氯-37原子，因而可供中微子撞击的靶子总共有2×10^{30}个。在中微子真的与氯-37原子的核发生作用的极稀罕的情况下，核中的一个中子转化为一个质子并通过受迫β衰变过程放出一个电子，这个核也就变成了氩-37原子核，并逃进容器的溶液中。如果能够数出容器中氩-37原子数目，就可以知道有多少中微子与容器中的氯原子核发生了相互作用。

这项工作干得非常漂亮，值得

授予诺贝尔奖。首先，将氦和惰性氩－36或氩－38气体泡通过容器而将氩－37从容器中取出，然后将已含有少量氩－37原子的全部氩与氦分离，并用特殊探测器进行监测。由于氩－37碰巧是半衰期等于34天左右的放射性同位素，实验者有可能监测每个放射性原子的衰变，从而定出它们开始时是多少。经过这些努力，得出每一轮实验记录大约12个事件，相当于两到三星期内容器中发生了同样数目的中微子相互作用。

1968年得到了首批实验结果，但与标准太阳模型的预言不符。起初，人们没有表现出多少不安，他们猜想是实验起步阶段遇到了暂时困难。但随着1970和1980年代实验数据的不断积累，人们越来越清楚意识到有些不对头。实验是出色的，但它只探测到预期的太阳中微子数的大约1/3。这表示天文学家还没有充分了解恒星的本质，或者维持太阳热度的质子－质子反应的计算不对，或者对中微子的某些性质认识不足。

戴维斯探测器实际捕获的中微子来自质子－质子反应的一个旁支①，其主要反应是铍－7核俘获一个质子，变成硼－8核，并很快发射一个正电子和一个中微子而变成铍－8核，然后分裂成两个氦－4核。硼－8发射的中微子的能量特别高，可以触发氯－37转化为氩－37；而质子－质子反应主序列产生的中微子能量较低，做不到这点。

关于这一反应产生的中微子中有多少应该到达地球的预言，是以美国加州理工学院凯洛格辐射实验室的科学家（如威利·福勒）的测量为依据的。他们算出，在标准太阳模型描述的太阳中心条件下，质子－质子反应主序列产生的中微子流应该能使地球上每平方厘米每秒种通过600亿个中微子。遗憾的是这些中微子的能量都不足以被戴维斯探测器记录下来。高能中微子的数量对太阳中心温度非常敏感。按照标准模型，太阳中心温度等于开氏1,500万度，在这一温度下，每秒钟通过地球上每平方厘米的由硼－8产生的中微子应该只有300万个，它们每个月将只能在戴维斯探测器中引发20个‘事件’。再加上质子－质子反应另一个旁支产生的中微子（这个旁支是铍－7俘获一个电子、放出一个中微子而变成锂－7，后者再俘获一个质子并分裂成两个氦－4核）引发的少数事件，理论预言戴维斯探测器中每个

① 参见331页的脚注。——译注

月应有 25 个事件。但实际上，20 多年来戴维斯实验每个月只记录了 9 个事件。

巴科发明了一个叫做太阳中微子单位——或 SNU——的数作为太阳中微子活动的量度。利用这个单位，理论预言戴维斯探测器应该记录 6 到 8 个事件，这已经考虑了计算中可能存在的不确定性。而实际上只观测到 2 到 3 个事件。总之，观测到的只有预期的1/3。原因何在？

1970 年代以来，天文学家和物理学家极力尝试了许多补救措施来解决太阳中微子问题。如果太阳中心温度降低仅仅 10%，就能达到目的——至少对我们关心的那些核反应来说是如此。但这在很多方面不宜总是强调为太阳中微子问题的胜利解决，因为太阳中心来的中微子已经被探测到了，理论和实验之间的差异不过 10% 而已（指温度），而且问题还在于，天体物理学家认为他们对恒星了解得如此彻底，以致他们不知道怎样把温度降低这么多。

1980 年代末的一个十分诱人的思想是，太阳内部可能有暗物质粒子（WIMP)。这种单个质量为质子几倍的粒子可能提供为解释我们银河系自转所需要的暗物质数量，而如果有足够多这类粒子落人太阳的引力场，它们就将沉降到太阳中心，将少量热能从中心带到外面，加热中心以外不远处的区域，使那里的温度得到平滑。太阳中心产生的总热量还是那么多，但扩散到了一个温度稍低的较大体积内。

但是，情况在 1990 年代初发生了变化，一方面由于建成了更多太阳中微子实验装置，另一方面也由于理论家推出了更好的太阳模型。用 WIMP 所做的解释仍然有效，但不再拥有优势。现在的太阳模型预言的中微子数量还不到戴维斯探测器观测到的两倍（5.3SNU: 3.0SNU)，有些模型甚至与最新的观测一致。尽管巴科激烈争辩说这些模型不能真正描述太阳，但有一个学派则认为，实验数据应该给予信任，符合实验结果的模型才是惟一‘有效’的模型。

包括伽勒克斯实验和萨奇实验在内的新探测器十分重要，因为和戴维斯探测器相比，它们对更低能量的中微子敏感，从而开辟了另一个观察太阳中微子能谱的‘窗口’，甚至能提供 p-p 中微子（即质子－质子反应主序列产生的中微子）的信息。神冈中微子探测实验也是对高能中微子敏感，但其方法完全不同于使用氯的探测器，而得出的中微子数则基本相同。所有这些实验仍然证明与标准太阳模型不相符。

迄今已积累了 20 多年的戴维斯数据还包含更复杂的情况。在两

个太阳活动周期间，有迹象显示太阳活动较强时探测到的中微子甚至更少，太阳活动较弱时中微子稍多。这完全令人困惑不解，因为太阳活动周是太阳表面现象，而中微子来自太阳中心。研究太阳中微子问题的人基本上没有把这个表观上的相关性当回事，但他们用半只眼睛盯着那些实验，看这一现象在当前太阳活动周中是否重复。

关于太阳中微子问题的最广受欢迎的解答是，中微子在太阳内部核反应中形成后和到达地球之前经受了某种变化过程。这个过程的一个广为流传的版本叫做 MSW 效应——MSW 是提出这一过程的三位主要物理学家姓氏的首字母，他们是俄罗斯的 S. P. 米凯耶夫和 A. Yu. 斯米尔诺夫，以及美国的林肯·沃尔芬斯坦。米凯耶夫和斯米尔诺夫是根据沃尔芬斯坦提出的见解完成其研究的。太阳内部核反应产生的中微子全是电子中微子，这是探测器能检测出来的惟一一类中微子。但还有另外两类中微子，一类与μ介子相关联，另一类与τ粒子相关联。如果有些电子中微子在前往地球的途中转变成了另外类型的中微子，那就可以解释探测器记录的中微子短缺。

理论认为这仅当所涉及的中微子的质量不为零时才有可能。电子中微子的质量肯定非常接近零，μ中微子的质量不会大于大约 0.01 电子伏。还有其他一些过程（理论上）容许中微子通过振动从一种类型变成另一种类型，但它们都要求中微子拥有质量。

目前，几项不同实验提供的数据已经大大缩小了取舍范围，例如，允许的质量范围已经很有限了。如果你是乐观主义者，这就是好消息，它表示电子中微子的真正质量已经定得很准了。如果你是悲观主义者，你就会想以后一到两次实验将会堵死这条路，不给任何带质量的中微子存在的余地，从而将它排除在太阳中微子问题的‘解答’之外。当前，太阳中微子问题仍然没有解决。一个极端是几位理论家说不存在什么问题，他们心目中的最佳模型，在实验误差范围内与观测是符合的。大多数天文学家和粒子物理学家则认为有问题，但不明确问题的解决究竟是需要更好的天体物理学知识，还是更好的粒子物理学知识。随着今后几年更多实验结果的积累，它大概将仍然是持续不衰的天体物理热门话题。

Solar oscillations 太阳振动，见日震学。

solar radius 太阳半径，太阳的半径，等于 1.392×10^6 公里。太阳半径常用作量度天体大小的单位，所以恒星的大小可以表示为太阳半径的多少多少倍。

Solar system **太阳系**，太阳和跟随它的行星、彗星、小行星、气体以及所有碎片——被太阳的引力场维持在环绕它的轨道上的一切东西——的总称。太阳系质量的 99.86% 集中在太阳内，其余质量的2/3为木星所拥有。

solar time **太阳时**，利用地球自转、从正午到次日正午的时间间隔为基准的时间。见恒星时。

solar units **太阳单位**，以太阳数值为单位的单位体系。见太阳光度、太阳质量、太阳半径。

solar wind **太阳风**，从太阳发出的主要成分为电子和质子的带电粒子流。这是以几百公里每秒的速率运动的稀薄等离子体，在地球的距离上每立方厘米大约只有 8 个粒子，而且随着向太阳系外区扩展而越来越稀薄。

space **空间**，传统上指的是恒星和行星之间的空隙。但在狭义相对论和广义相对论情况下，甚至'虚无空间'也应看成具有明确结构和性质——它是物质事件赖以发生的舞台。空间的性质，特别是它弯曲的方式，决定了物体的运动状态甚至宇宙的命运。在相对论中，三维空间和时间结合成四维连续统。

根据量子理论，这一图像在距离与普朗克长度相仿的最小尺度上失效，这时空间和时间都在'量子泡沫'中失去了它们的本性。美国物理学家约翰·惠勒认为，我们视为真实粒子的东西在空间中的存在，在量子泡沫活动中的意义不见得大于一片云在大气动力学中的作用。我们看见了云，或粒子，但它们只不过是活动之海中的微小扰动。在本书中，'空间'一般用于相对论意义之下。

space observatories **空间天文台**，专门用于天文观测的不载人（到目前为止）人造地球卫星。空间天文台一般是在不能穿透大气抵达地球表面的电磁辐射波段进行宇宙观测，但将光学望远镜送到大气外（比如哈勃空间望远镜）也能大大改善清晰度。空间天文台和空间探测器获得的数据通过无线电通讯系统发回地面站。

spaceprobes **空间探测器**，发射到远离地球轨道的地方对太阳系的其他行星、太阳本身和其他恒星（总有一天会实现）进行就近研究的不载人（到目前为止）探测器。它们是为探测空间中的事物而非空间本身结构而设计的。有些空间探测器（如旅行者系列）飞过若干目标行星，所以只发回与每个目标天体一次紧密接近时获得的数据；另一些空间探测器，如伽利略探测器，是为了进入绕目标天体的轨道而设计的，所以能在较长时间内发回一颗行星的数据。还有一些探测器，如海盗系列，则通过行星的大气降

落，并从它们的表面发回数据。

spacetime 时空，空间和时间联合面成的四维连续统，初由赫尔曼·闵可夫斯基探讨狭义相对论时提出，不久后阿尔伯特·爱因斯坦将它推广以描述广义相对论。对于爱因斯坦理论——这是我们认识整体宇宙和宇宙中一切事物在引力作用下行为的基础——时空是一种真正实在的结构，它像一张展开的橡皮膜的表面，能够弯曲、拉伸和压缩，甚至可以在上面凿洞。时空中还可能有类似空气中传播的声波那样的涟漪（见引力辐射），而时空的总状态决定了终极的宇宙的命运。

两个事件之间的空间关系和时间关系，在以不同速率运动（不同参考系中）的观察者看来可以不同。以一艘空间飞船从太阳系出发和它到达半人马座 α 这样两个事件为例。飞船到达半人马座 α 所需要的时间，在不同参考系中是不同的；太阳和半人马座 α 之间的距离在不同参考系中也不相同。但是，爱因斯坦方程式描述的时空中两事件之间'距离'的正确量度，即时空间隔，则对所有惯性系中的所有观察者来说，都是相同的。

spacetime diagram 时空图 = 闵可夫斯基图。

spacetime interval 时空间隔，见时空。

space travel 空间旅行，通常指的是载人空间飞行。迄今人类旅行最远只到月球。以今天的技术到火星旅行应不难实现，而 21 世纪初期进行俄美联合火星探险的可能性也已经在讨论之中。天文学家对载人空间旅行是否能如愿以偿心情矛盾，他们喜欢勘探太阳系（或甚至太阳系外）的思想，但以当前有限的技术和经费，他们认为更划算（且更安全）的是发射不载人空间探测器去探查邻近天体。

但少数热心人士进行计算后，证明只要用比我们现有的稍稍先进一些的技术，就可以在银河系内开发殖民地。一个可能的办法是利用使宇航员在飞往其他恒星的途中能够生存好几代的大型空间飞船（也许是挖空的小行星）。还提出了其他一些建议，细节已经无关紧要，重要的是，比我们稍微先进些的文明生灵肯定有能力进行到其他恒星旅行这样一个事实。这既不违背任何物理学定律，也不需要我们尚不知道的任何形式的物质或能量。这些考虑导致了费密佯谬的提出。另见时间旅行。

Special Astrophysical Observatory 特设天体物理台，前苏联的用于射电天文和光学天文研究的中心天文台，坐落在高加索山区，其主要设备有 6 米光学望远镜和叫做拉坦 600 的射电望远镜。

special theory of relativity 狭义相对

论，阿尔伯特·爱因斯坦在20世纪初提出的对运动物体之间的关系和相互作用的描述。狭义相对论于1905年首次以方程式为基础的数学形式发表；但利用1908年赫尔曼·闵可夫斯基最先引进的对四维时空中事件的几何描述，能够更清楚地说明它的实质。该理论冠以'狭义'，是因为它只应用于作匀速直线运动——即等速度运动——的物体这一特殊情况。它不涉及加速运动，包括引力产生的加速度。爱因斯坦理论后来扩展到考虑引力和其他加速度（广义相对论），而进一步发展了时空的几何模型。

从一个静止（在自己的惯性参考系中）的观察者来看，狭义相对论的关键特征是，运动的钟记录的时间走得慢，运动物体在运动方向上收缩，运动物体的质量增加。对任何惯性参考系中的任何观察者，不管他们相对于光源如何运动，光的速率都是相等的，而且不可能将一个物体从低于光速加速到光速。所有这些预言都已经多次通过实验检验证明成立。正是狭义相对论指出了，质量和能量可以按照爱因斯坦公式 $E = mc^2$ 相互转化；这也已经通过包括原子弹爆炸等等实验得到证实。另见相对论力学。

spectral classification of stars　恒星光谱分类，利用恒星光谱的细致研究对按颜色（见色指数）的恒星分类所做的改进。亨利·德拉伯在哈佛提出的基本分类方案，在20世纪初发展为按照光谱和颜色将恒星依温度下降顺序分成O、B、A、F、G、K、M七种类型的分类系统。此分类系统一端的O型星呈蓝白色，光谱中有电离氦谱线；G型星要冷得多，色橙黄，光谱中有强电离钙谱线和其他诸如铁等金属的谱线。

随着光谱观测方法的改进，使得有可能将哈佛序列的7个主要类型进一步细分。于是，比如太阳，就不是简单的G型星，而是可分类为G2。后来发现有些冷星光谱中的一些强吸收特征在另一些相同温度的恒星中不出现，于是在哈佛分类的冷端增加了3个新类型R、N和S。由哈佛分类发展而来的现代分类叫做MK系统，它用其他一些数码或字母提供有关恒星的补充信息（如太阳被定为G2V型）。这意味着，对一个专家来说，表示恒星类型的代码含有丰富的信息；但一个纸上谈兵的宇宙学家只要关注原始哈佛分类就足够了。

spectroscopic binary　分光双星，两颗子星相隔太近以致用望远镜也无法区分、但其轨道运动却能通过它们光谱中多普勒效应的规则变化而推知的双星系统。

spectroscopy 波谱学[①]，通过分解恒星或其他天体发出的光或其他辐射——它们的波谱[②]——对天体本质进行的研究。波谱学传统上处理的是可见光，但已经扩展到了电磁辐射的其他波段，甚至宇宙线这类粒子的能量分布测量也包括在内[③]。波谱学是天文学、尤其是天体物理学的无比重要的工具；没有波谱学，我们除了恒星和星系在天空上的方位外，将对宇宙一无所知。

波谱学做的第一件事，就是告诉我们恒星、星系等等是由什么东西构成的。它能做到这点是因为每种元素的原子在波谱中产生它独有的特征，叫做谱线。当原子以光的形态发射或吸收能量时，它们只在十分确定的波长进行，这些波长对应着围绕该原子核的电子排列的改变。为便于说明，我们设想某个特定能量状态的电子位于楼梯的一个梯级上。如果电子向下跳一极，进入较低能量状态，它便发射一个电磁辐射量子，其波长决定于梯级的高度。处于较低梯级上的电子也能向上跳到较高梯级，但只有在吸收一个恰到好处的能量子时才能完成这样的跳跃。发射在波谱中产生亮谱线，吸收则在波谱中被电子'偷窃'了背景光源能量的地方产生暗谱线。有些源也产生具有特定形状的连续波谱——最重要的两个实例是黑体辐射和同步加速辐射。黑体辐射实际上是依照量子规则加在一起的很多波长辐射结合而成，而同步加速辐射乃脱离了原子的电子在磁场中自由运动时所产生。

所有这些性质都已了解得极其透彻，并可用量子理论完美地加以说明。但要应用波谱学，却并不需要量子理论。你需要的全部只是实验室观察得到的知识，即每种原子只吸收和发射特定的一种或多种颜色（波长）的光。例如，当钠原子被加热或放电激发时，就在光谱橙色区的两个明确波长产生强烈辐射；这就是很多街灯发出的橙黄色光。同样，如果白光通过含钠的物

① 射电天文中常译为'频谱学'，光学天文中常译为'光谱学'，而英文均为'spectroscopy'。本中译本依照中文表达习惯，根据具体情况分别采用适当的译名。——译注

② 同样，射电天文中常译为'频谱'，光学天文中常译为'光谱'，而英文均为'spectrum'。本中译本依照中文表达习惯，根据具体情况分别采用适当的译名。——译注

③ 粒子的'能量分布测量'的英文确实也可用'spectroscopy'，但相应的中文则是'能谱学'，所以不包括在中文的'波谱学'内。——译注

质（也许是溶解在液体中），光谱中被钠吸收了能量的相应部位将出现暗线。

导致光谱学得以发展的关键性发现是德国物理学家约瑟夫·冯·夫琅和费在 1814 年做出的。他是用高放大率对经过棱镜的光所形成的虹的花样进行洋细研究的第一人。他真正感兴趣的是棱镜玻璃材料的性质以及玻璃如何对光产生影响，然而他却惊奇地发现，一些白光（包括太阳光）的光谱中竟有很多暗线。太阳光谱中的少数暗线现在称为夫琅和费线，其实它们早在 1802 年就被英国医生兼物理学家威廉·沃拉斯顿（William Wollaston, 1766 – 1828）注意到了，不过它们的重要性当时尚不为人所知，而夫琅和费对沃拉斯顿的发现也毫不知晓。夫琅和费很快就在太阳光谱中计数了 574 根谱线，其中很多也在金星和许多恒星光谱中找到了。

1859 年，德国科学家古斯塔夫·基尔霍夫发表了夫琅和费线乃太阳大气中的不同元素对光的吸收所产生的解释。1850 年代末，基尔霍夫与罗伯特·本生一道，进而表述了光谱学的基本原理。这位本生绝非巧合地就是本生灯的发明者（实际上，‘本生灯’是本生的一位助手将迈克尔·法拉第发明的一种装置改造而成）。本生灯提供的清洁高温火焰，可加热各种不同物质直到燃烧，从而在各自的特定波长辐射出可供研究和分析的光。用这样的方法很快就发现了前所未知的元素。几年后，诺曼·洛基尔在分析太阳光谱时发现了‘新’的元素氦，极其轰动地展示了光谱学对天文研究的价值。任一种给定的元素，其热样品产生的亮谱线的波长，与光线通过其冷样品产生的暗谱线的波长准确一致。

恒星和星系的光谱可用装到望远镜上的棱镜将光分解而获得——这也就是早年艾萨克·牛顿发现光可以分解为五彩斑斓的虹所用的方法。然后，光谱可用照相底片拍摄下来供详细研究。光谱中谱线的位置和强度也能用电子技术来测定，办法是把电子探测器直接装到望远镜上，或者用电子探测器抽取照相底片拍摄的信息。这样的光谱中，既可能有很多明亮谱线，它们对应恒星表面热区原子发射的光；也可能含有很多暗谱线，它们对应较冷区域中原子的吸收，而这些较冷区域可以是恒星自身更远离其表面的区域，也可以是太空中的气体尘埃云。将这些谱线同实验室的光谱进行比较，就能确切知道究竟是什么元素在吸收和发射，从而直接揭示被研究的天体中存在什么元素。每种元素产生的谱线排列图样就像指纹那样是独一无二的，因而能够提供明确无误的证认。

通过测量波谱中不同谱线的强度，天体物理学家可以计算出产生这些谱线的物质温度有多高（不单单是知道它由什么元素构成）；而通过测量谱线向波谱短波端或长波端的位移，他们就能利用多普勒效应计算出恒星朝向或背离我们的运动有多快。将这一方法应用到侧向星系，就能计算出星系的自转有多快，而宇宙学红移则告诉我们宇宙膨胀有多快。总之，单是光谱就能告诉我们，天体由何物构成，它有多热，它是如何运动的。

分子也能产生其独有的波谱特征，它们常常是在毫米波段；而高能天体的波谱特征则在X射线和γ射线波段。

spectrum **波谱**[①]，以任何一种形式展示的电磁辐射强度与波长之间的关系。我们最熟悉的例子就是用棱镜获得的彩虹般的可见光谱或雨过天晴横跨长空的彩虹本身。白光是由很多波长混合而成，人眼所见颜色范围从（波长最长的）红色开始，经橙、黄、绿、蓝、靛，而终结于（波长最短的）紫色。光谱中每种颜色的亮度代表那种颜色的光在发光体的白光总亮度中贡献有多大。光谱的性质可以用照相底片和电子探测器精密地加以测定。

波谱从可见区两端向外延伸，就进入紫外及以远和红外及以远的各个波段。人眼感光范围以外不同波长处的辐射强度，可用各种各样的合适仪器（如射电望远镜）进行记录，并显示为一组数字或一幅图。在这两种显示中，有些地方出现能量高峰（对应波谱中的发射线），有些地方出现能量的突降（对应波谱中的吸收线）。为了方便，整个电磁波谱分成一些独立波段，就像可见光谱很自然地分为不同的颜色。全部波谱从（波长最长的）射电波开始，经微波、红外、可见光、紫外和X射线，而终结于（波长最短的）γ射线。

粒子物理学借用波谱中的‘谱’这个词来描述具有不同能量的粒子数分布图样。声波也能用不同波长的波谱来分析各个波长对（比如一支乐队）总的声音的贡献。如果天文学家将来探测到引力辐射，他们也将用不同波长的波谱来进行分析。但是，如果‘波谱’一词未加任何限定，它指的就是最典范的电磁辐射波谱，而且大概是可见光谱。

见波谱学。

spiral arms **旋臂**，盘状星系中的自我维持恒星形成过程导致的明亮恒星勾勒出的图样。这种图样是罗斯

① 参见389页的脚注②。——译注

伯爵在 1845 年最先注意到的。

spiral galaxy **旋涡星系**，盘状星系的另一名称。盘状星系这一名称比较好，因为并非所有盘状星系都有明显的旋臂，尽管拥有旋臂的所有星系都是盘状星系。

Spörer, Gustav Friedrich Wilhelm **斯玻勒，古斯塔夫·弗里德里希·威廉**（1822–95），德国天文学家，1822 年 10 月 23 日生于柏林。他发现在太阳活动周的不同阶段，太阳黑子出现在不同的日面纬度。他对历史资料的研究独立揭示 17 世纪曾有一个太阳黑子短缺期，现在称之为蒙德极小期；15 世纪也有一个类似的太阳黑子短缺期，叫做斯玻勒极小期。

s-process **中子慢俘获过程**，中子供应稳定但不太充足的条件下，通过核合成加工重元素的过程，简称 s 过程。这里的 's' 来自英文的 'slow'，意思是 '慢'。在 s 过程中，一个核每次俘获一个中子，而且在俘获另一个中子之前可能经受β衰变。这是比铁族元素更重的元素的形成途径之一（另见r 过程；很多同位素可经由这两条途径产生）。s 过程产生的重原子核在相继两次中子俘获之间可能需要等待几年或几十年，但在恒星内部，因作为核聚变反应副产品的中子得以不断供给，因而 s 过程无时不在缓慢地进行着。

s 过程的重要性在于，它能在大多数亮星中稳步进行。仅能通过 s 过程形成的同位素只有 28 种，s 过程到同位素铋–209 即结束，因为如果铋–209 再俘获一个高能中子，则新形成的核将迅速发生α衰变。

SS433 **SS433**，我们银河系中一个发射物质喷流、其行为犹如小型类星体的极其引人入胜的恒星层次天体。它离我们大约 5 千秒差距，位于天鹰星座的一个年龄 40,000 岁的超新星遗迹中。除可见光外，它还发出 X 射线、射电波和γ射线。

SS433 名称来源于它在凯斯西方预备大学的两位天文学家——布鲁斯·斯蒂芬森（Bruce Stephenson）和尼古拉斯·桑达利克（Nicholas Sanduleak）——在 1977 年所编强发射线（见波谱学）星表中编号为 433。一年后，1978 年 6 月，对 SS433 光谱的研究展示了一幅前所未见的行为图像。光谱中的强发射线以 164 天周期在一个很宽的波长范围向前和向后移动（相当于多普勒效应在一个很宽的范围内变化），而其他对应于源中氢和氦的光谱特征的多普勒效应则较小，而且变化周期为 13.1 天。

这一现象的公认解释是，SS433 本身是双星系统中一颗质量 10–20 倍于太阳的 O 或 B 型热星，它以 13.1 天的周期绕一颗中子星

(也可能是黑洞）运动。中子星的引力剥夺大子星的物质，形成一个向中子星输送物质的吸积盘。下落物质释放的巨大能量将气体从中子星驱赶出来形成两股喷流，中子星的自转带动喷流每 164 天旋转一次，引起同一天体显示出强红移和强蓝移。喷流的运动速率达 80,000 公里每秒（约光速的1/4)，有时大致指向我们，有时又大致远离我们，从而解释了实测多普勒位移的巨大变化。射电研究表明喷流从中心‘发动机’向外延伸 0.05 秒差距（0.16 光年)；而 X 射线研究表明发射来自 SS433 两边各 30 秒差距之处，那里正是喷流与周围的超新星遗迹相互作用的地方。

这一图景很像人们认为的脉冲星发射成束射电辐射的方式，尽管后者并不涉及吸积盘。它甚至更像被认为发动了活动星系和类星体、但规模大得多的巨大黑洞/吸积盘系统发射喷流的情形。从 SS433 观测到的活动大概是大多数 X 射线双星演化中一个短暂阶段的典型表现，现在已经发现另外两个超新星遗迹中的源显示了相同的、但激烈程度较轻的活动。

standard model of the Universe 标准宇宙模型，见大爆炸。

starburst galaxies 星暴星系，含有杂乱分布的尘埃、并正在大规模爆发式形成恒星的不规则星系（有时显示旋涡结构的痕迹)。大多数星暴星系正在和其他星系相互作用（甚至碰撞)，它们发出很强的红外辐射，其红外亮度可能达到可见光的 50 倍。见星系形成和演化。

star formation 恒星形成，恒星是太空中冷而比较浓密的气体尘埃云在自身重力作用下发生引力坍缩而形成的。这主要发生在密度大约每立方米含 10 亿到 100 亿个原子的巨分子云中。

实际上这样的云是很难坍缩的，因为它们由近邻恒星加热气体所产生的压力、磁场，以及任何自转造成的离心力所支持。在一个像我们银河系的盘状星系中，恒星形成是气体云在旋涡密度波中被挤压而触发的（见星系形成和演化；椭圆星系中很少形成恒星)。云在超新星爆发的激波作用下也可能坍缩。

云一旦开始坍缩，它将按照金斯判据分裂成碎块。持续的坍缩使引力能转变为热能，于是碎块温度上升。由此产生的红外辐射开始时可以相当容易地逃逸，但随着碎块密度增高，它们变得不透明，将辐射保持在内部，引起碎块内部温度更加急剧升高。原始云的每个碎块现在已经成为一颗原恒星，它继续坍缩直到（一颗拥有与太阳相同质量的恒星大约要经历 100,000 年）形成一个仍然从引力坍缩获取能量的高温核心为止，然后按照开尔

文－亥姆霍兹时标继续平缓地坍缩。在这个阶段，原恒星周围大概会出现一个可能变成行星的物质盘(尤其当它是一颗孤独恒星而非双星系统成员时)。当原恒星中心温度升高到大约超过开氏 1,000 万度，其内部开始核聚变反应，原恒星也就平静下来成为一颗稳定的主序星。太阳这样的恒星约需经历 5,000 万年才到达主序；质量更大的恒星到达主序较快，质量更小的恒星较慢。

Starlink **星联网**，1979 年建立的将英国天文学家联系起来的计算机网络，现在已实现了不列颠与澳大利亚的赛丁泉天文台、加那利群岛的穆查丘斯罗克天文台和夏威夷的莫纳克亚天文台等地的联合王国望远镜之间的联网。

starquake **星震**，见自转突变。

stars **恒星**，恒星是由引力维持在一起的热气体（严格说是等离子体）球，它们发光是因为其内部的核聚变反应产生热能。我们在天空看到的星星几乎都是恒星，太阳就是一颗典型的恒星。

一些仍然在收缩而未到达主序的年轻恒星之所以很热（因而发光），是因为它们收缩时释放引力能（见开尔文－亥姆霍兹时标）；它们尚未开始'燃烧'氢的核相互作用。另一方面，一些老年恒星无法继续靠核燃烧维持热度，已经收缩成了白矮星或中子星；这样的老年恒星可以像行将熄灭的余火那样继续发光一段时期（甚至可长达数百万年）．尽管它们不再产生热量，却仍然被称为恒星。白矮星终将冷却为完全熄灭的灰烬——冷的黑矮星。

可能存在一类介于太阳这样的恒星和行星之间的暗弱恒星，它们在一段时期内能通过缓慢的引力坍缩产生热和光，但其中心永远不可能热到足以引发核燃烧的程度。这样的恒星叫做褐矮星，它们的质量在太阳质量和木星质量之间。

真正通过核相互作用产生热和光的主序星和巨星，全都起始于较大、较冷的气体云，气体云收缩并释放引力能时，其中心部分变热。只有当恒星的中心温度达到了临界值，核燃烧才得以开始。对于靠质子－质子反应发光的太阳这样的恒星，这一临界温度为开氏 1,500 万度。

天文学家为了强调恒星内部核燃烧的作用，有时会要求新涉足天体物理学的人解释核相互作用在决定恒星中心温度中的作用。显而易见的答案是，核相互作用维持恒星的热度；但这个显而易见的答案错了。当原恒星朝主序坍缩时，它的内部因引力能的释放而变得越来越热。当核燃烧开始，它产生足够的热量以造成向外的压力，使坍缩停

止，并使恒星稳定在主序的特定地点。没有核燃烧，原恒星就将继续坍缩而释放更多引力能，其中心亦将变得更热。恒星内部核燃烧的关键作用是使恒星中心冷下来（至少比没有核燃烧时冷些）。

例如，如果你使用魔法中止了太阳内部的质子－质子反应，其中心压力将降低，太阳将开始收缩，于是中心变热。但是，当中心温度升至大约开氏 2,000 万度时，碳循环的一系列相互作用成为产能的主宰，使压力增高而制止坍缩。核相互作用阻止恒星内部温度升至更高这一事实，对理解恒星演化至关重要。

这也解释了恒星何以如此稳定。如果某种原因碰巧使恒星稍稍膨胀（例如，如果核相互作用变得快些，产生较多热量而增加压力），恒星中心将变得较冷，因为能量被用来驱动膨胀。但恒星变冷时，核相互作用减弱，释放的能量减少，压力因而降低，于是恒星再度收缩而恢复到它的‘正确’大小。反之，如果某种原因碰巧使恒星稍稍收缩（例如，如果核相互作用变得慢些，产生较少热量而降低压力），则恒星收缩时引力能转化为热量，于是核相互作用加强，压力也将重新提升，使恒星膨胀而恢复到它平衡时的大小。这是一种每当出现扰动总是起着维持现状作用的称为负反馈的过程。

我们银河系拥有几千亿颗恒星，但从地球表面肉眼可见的只有数千（在理想条件下，任何时候从地球上任一地点看到的不超过 3,000）。各种天体表收录的恒星已经超过 1 百万，但对其中大多数我们掌握的全部知识仅仅是它们的视星等和在天空上的位置。用施密特照相机进行的各类巡天计划已经拍摄了几亿颗恒星，但其中大多数甚至还没有编目。

恒星的距离用视差和其他方法估计（见宇宙距离尺度）。离太阳最近的恒星是距离 1.3 秒差距（约 40 万亿公里）的半人马座比邻星。虽然主序星的直径与太阳相近（地球直径的 100 多倍），而有些巨星的直径比太阳大 100 倍，但由于恒星离我们极其遥远，它们全体（太阳除外）甚至用望远镜看起来也不过是天幕上的小小光点。恒星的大小可从它们的颜色和光度计算出来。颜色告诉我们恒星表面有多热，光度告诉我们恒星每秒钟发出多少能量。根据颜色和光度的测量，就能直截了当地计算在那样的温度下恒星必须多大才能发射那么多的能量。

有关恒星的知识主要来自能揭示其物质成分、表面温度和运动状态的光谱学研究。恒星几乎完全由氢和氦构成；按照原子（严格说是

原子核）数，太阳物质成分（这是典型）的90.8%是氢，9.1%是氦，0.1%是重元素。这些准确的数字部分源于光谱学揭示的表层不同元素的比例，部分通过将不同内部成分的恒星模型计算性质与实测恒星性质（包括大小和光度）进行比较，找出符合得最好的计算结果。

多数恒星存在于双星系统（或聚星系统）中；太阳是一颗拥有行星家族而无恒星伴侣的孤立恒星，这在主序星中属于少数，但这是数量很大的少数，大概占全部恒星的15%。幸而大多数恒星属于双星系统，因为天文学家能够根据恒星在双星系统中的运动特性推算它们的质量。双星系统由引力维系在一起，两星相互环绕（严格说是环绕它们的公共质心）运行的轨道遵守开普勒定律。通过测量双星的轨道周期（比较容易）和两星之间的距离（相当难，但对部分双星并非不可能），就能够利用开普勒第三定律计算双星系统两子星加在一起的总质量。

双星系统中两子星相对于更遥远恒星背景运动的观测是长期而艰苦的，在少数情况下，这样的观测能揭示每颗子星离质心有多远。和一大一小两个孩子在跷跷板上平衡的情形一样，双星系统的平衡要求质量较大的子星必须离质心较近，质量较小的子星必须离质心较远。两星离质心的距离之比（这可以测出）等于两星质量的反比，由此能够得出两星的质量比。

有了这两方面的信息（总质量和质量比），就能直截了当计算双星中每颗星的真正质量。经过多年的仔细观测，天文学家用此方法积累了足够的资料，确证了质光关系，并估计了那些不能直接应用这一方法的恒星的质量。质量也能用根据已知天体物理学定律将恒星大小、质量和光度联系起来的恒星模型进行估计。总的说来，各种不同类型恒星（诸如红巨星、主序星或白矮星）模型代表的质量，与能够通过现实恒星精确测量的对应质量是符合的，这使天文学家确信他们的模型的正确性。

恒星在主序停留的时间只依赖于它们的质量，质量25倍于太阳的恒星是3百万年，太阳本身是100亿年，质量仅为太阳之半的恒星是2,000亿年。部分由于这一原因，在任何时候，‘存活’的小质量恒星远远多于大质量恒星。

statistical parallax **统计视差**，见宇宙距离尺度。

Steady State hypothesis **稳恒态假说**，依照完全宇宙学原理，不论什么时候，也不论什么地方，宇宙总是呈现出相同总体外貌的思想。既然我们看到宇宙在膨胀，星系团在彼此分开，那么这就意味着，新的星系

必须不断地被创造出来以填补老星系彼此分开留下的空缺。

这一思想最初是由赫尔曼·邦迪、汤米·戈德和弗雷德·霍伊尔于1940年代提出来的。虽然他们共同提出这一思想（在观看了影片《夜晚的寂静》之后。这是一组四集连续鬼怪剧，最后一集的结尾返回来重复首集的开头），但邦迪和戈德共同对结论进行哲学上的讨论，而霍伊尔独自一人用创造场描述物质的连续创造，试图将这一思想置于更为科学的基础之上。原始思想认为物质在整个星系际空间以新的氢原子形态平静地出现（每100亿立方米体积中每年只需要出现一个新原子）；后来的发展（由霍伊尔与印度天文学家加扬·纳里卡合作完成）将物质的创造设想为一种发生在强引力场区域（如活动星系核和类星体）中的局域高能事件。

简单原始形式的稳恒态假说已被高红移天体的观测证明为错误，因为这些观测表明作为整体的宇宙随着年龄的增加已经发生了变化（见回顾时间）。大爆炸理论的巨大成功，特别是背景辐射的发现和对大爆炸中最轻元素的核合成解释（颇具讽刺意味的是，这主要是霍伊尔的成就），说明稳恒态思想到1960年代末已基本上被抛弃。但是，暴涨理论的新近发展认为整个可见宇宙不过是一堆永远膨胀、自我复制的泡沫中的一个泡，这是稳恒态假说原始哲学基础的鲜明重复。特别是，它排除了大爆炸奇点中惟一初始事件的必要性，这正是大爆炸理论中不能接受的一个方面，而从中首先得到鼓励的却是稳恒态思想的支持者。

补充读物：弗雷德·霍伊尔著《起风之处就是家》[20]。

stellar diameters　恒星直径，恒星的大小相差悬殊，其直径从超巨星的数亿公里（大于火星环绕太阳的轨道直径）到中子星的大约10公里。太阳的直径是1,392,000公里。白矮星的直径是几千公里，大致和地球一样。恒星的大小通常用太阳的大小（太阳半径）来表示；主序星半径的范围大约从太阳的10倍到太阳的1/10。另见恒星演化。

stellar energy sources　恒星能源，见质子－质子反应和碳循环。

stellar evolution　恒星演化，天文学家谈论诸如恒星等天体的演化时，其意义与生物学家所讲的进化不完全一样。生物学所讲的进化涉及从一个世代到下一个世代的变化，而天文学中的恒星演化指的是从诞生到死亡的过程，即生物学称之为个体的生命周期。

恒星是太空气体尘埃云在引力作用下坍缩而成，坍缩使云内部变热，直到温度升高到其中心开始发

生核聚变反应（见恒星形成）。核聚变反应释放热能并产生向外的压力以支持恒星对抗进一步坍缩——至少可与核燃料供应持续时间一样长久。现在正在形成的所有恒星的原材料都是大致相同物质的混合物——略少于75%的氢（按质量）、略多于25%的氦和少量重元素（较早几代恒星所含的氢略多，氦和重元素略少；见核合成）。一颗恒星一旦开始燃烧核燃料（将氢转变为氦）并到达主序，往后的生命历程（它的'演化'）就由它的质量惟一地决定。虽然恒星的一生比人类文明存在的时间长得多，没有一颗恒星的演化能从头到尾加以观察，但恒星的生命周期却已经通过观测很多不同年龄的恒星，以及将观测与根据已知物理学定律建立的计算机模型进行比较，而得到了详细了解（这和通过研究大片森林中各种年龄的树木能够详细了解一棵树的生命周期十分相似）。

太阳是一颗典型的主序星。由于在它的中心，温度达开氏1,500万度，发生着将氢转变成氦的质子－质子反应，太阳已经以几乎相同的强度辐射了45亿年，并且将继续这样辐射大约同样长的时间。一颗像太阳这样的恒星，为了适应氢不断转化为氦引起的内部物质成分的持续变化，在其整个主序阶段将逐渐变热。这种变化从天文角度看并不剧烈（过去40亿年总共变热了大约20%），但对地质学家和气候学家却很重要，因为他们需要解释为什么甚至在太阳比较年轻和黯淡的时期，地球也曾足够温暖，使得水呈液态而能流动，生命因而得以进化；对此的标准解释是，年轻地球较厚大气中的强烈温室效应促成了这一奇迹。

太阳的质量与主要通过质子－质子反应产能的恒星所能拥有的最大质量相近。对一颗更大质量的恒星来说，甚至质子－质子反应也无力提供足够能量来中止星体进一步坍缩并变热。如果中心温度超过大约开氏1,600万度，另一种将氢转变为氦的过程——即碳循环——开始起重要作用。即使在太阳内部，碳循环也对能量的产生有一定贡献；质量超过太阳数倍的主序星的中心温度达开氏2,000万度左右，它们获得能量主要通过碳循环。但不管能量的主要来源究竟是质子－质子反应或者碳循环，这两种核聚变生成的能量都使恒星稳定下来，并在整个主序阶段防止它们进一步坍缩。

当恒星用完了中心区的氢时，情况就变了。恒星质量越大，它就必须越快地燃烧它的燃料以提供足够的压力来支持自身。虽然太阳的主序阶段长达100亿年，但质量为太阳3倍的恒星只能在主序呆上5

亿年，而质量为太阳20倍的恒星只能在主序呆100万年。质量比太阳更小的恒星在主序停留的时间也相应地更长——质量为太阳之半的恒星在主序停留的时间约为太阳的20倍。

然而，或迟或早，恒星终归要烧完中心区的氢。这时它的核心主要由氦构成，且含有恒星的大部分质量，而周围包层（占恒星体积的大部分）物质则仍然主要是氢。当氢转变为氦的反应在中心区停止(不管是哪个过程)，恒星就开始收缩，其内部则因引力能的释放而变热。首先是紧靠氦核心区的周围区域变得足够热，使得其中的氢开始转变为氦，由此产生的能量驱使星体外层膨胀（从而使恒星在赫-罗图上离开主序，移向右方）。而随着核心外边更多氢变成了氦，核心的质量继续增加并向内收缩。不过，在生命历程的这一时刻，即使是一颗质量与太阳相同的恒星，其中心温度亦将如此之高，以致壳层中的氢燃烧主要是碳循环而非质子-质子反应。

如果恒星的质量足够大，它的核心内部终将变得如此之热（约开氏1亿度），致使氦原子核开始经由三α过程聚变为碳。如果恒星的质量超过太阳质量两倍左右，核心区的氦燃烧是随着核心温度的升高而逐渐发动的。对于更小质量的恒星，氦燃烧是在一种叫做氦闪的过程中十分突然地发动的；这是由于，只有在核心已经被压缩到了简并物质形态，温度才会升到足够高以触发氦燃烧，这样，一当达到了临界温度，量子过程便触发一个持续数秒钟的产能高潮，然后热的核心稍稍膨胀并稳定下来。不论通过哪种途径，恒星是再次稳定下来了，但现在它有了一个氦燃烧核心，周围是一个氢燃烧壳层，再外面是一个巨大的外包层；它已经成了一颗红巨星。当太阳变成红巨星时，它的大气将膨胀，直到其直径大于水星轨道为止（有些关于太阳'未来史'的计算错误地得出，红巨星阶段的太阳将吞没地球；那些计算忽略了一个事实：到太阳变成红巨星之前，它将通过向太空喷射物质损失掉大约1/4的质量)。

恒星作为相对稳定的红巨星的寿命比它在主序耽搁的时间短得多——典型值大约是作为单纯氢燃烧恒星寿命的5%～20%。太阳本身的红巨星阶段仅约10亿年。如果恒星的质量足够大，那么还可能有其他的核燃烧阶段，通过核合成逐次加工出越来越重的元素。一颗恒星甚至可能拥有好几个不同的核燃烧壳层，它们就像洋葱一样层层套叠包裹着核心。但每一个核燃烧阶段都比前一个完结得快。所有这些活动改变着恒星的外貌，并可使

恒星经历各种变星活动阶段，包括造父变星活动和天琴座RR型星活动（一颗特定恒星经历的具体变星活动类型决定于它的质量）。

活跃的生命期行将结束的恒星将脱掉它的外层以形成行星状星云，剩下一个致密的物质核，其中一切聚变反应均已熄灭，这就是白矮星。白矮星将在数百万年内缓慢地将它的热量辐射到太空中去，最后变成黑矮星；这些至少对质量不大于8倍太阳质量的恒星均成立。质量更大的恒星在经历了越来越快的各种核燃烧阶段之后，将通过壮观的超新星爆发结束其一生。

在包括太阳在内的小质量恒星中，演化的最后阶段可能形成一个致密的碳和氧构成的核心，其外面包围着一个正在燃烧氦的壳层和另一个正在燃烧氢的壳层。这样一颗恒星的结局是变成质量约为当前太阳质量之半的白矮星，其余的质量已经在其一生中损失掉了。它将含有丰富的碳（简直就是煤渣!），外面有一个简并氦壳层，也许还有稀薄的氢大气。

以上全部论述都是针对孤立恒星的，但大多数恒星实际上是在双星系统中。即使是在双星系统中，很多恒星也与它们的伴星相距足够远，因而以上描述的总图像仍然成立。但是，在密近双星中，恒星的演化（特别是晚期演化）可能受伴星存在的深刻影响。质量较大的子星较快地演化到红巨星阶段，它那膨大外层的气体可能被潮汐力拉向它的伴侣（见共生星）。在其后的某个演化阶段，原来那颗质量较大的子星有可能变成白矮星（甚至中子星或黑洞），现在它反过来从它的伴侣将物质拉向自身。这种过程导致形成激变变星、X射线双星和再发新星，甚至形成Ⅱ型超新星。

补充读物：威廉·考夫曼著《宇宙》[48]。

stellar masses　恒星质量，恒星的质量通常用太阳质量来表示，太阳质量等于 1.9891×10^{30} 千克（约2000亿亿亿吨）。根据恒星模型，质量少到8%太阳质量的恒星能够存在，但用哈勃空间望远镜的观测却发现质量在20%太阳质量（红矮星的质量）以下的恒星数量微不足道。而另一方面，已知质量最大的恒星，其质量大约是太阳的100倍。

小质量恒星定义为小于大约2.5倍太阳质量的恒星，中等质量恒星是大约2.5~8倍太阳质量的恒星，大质量恒星是大于8倍太阳质量的恒星。除了未能得到解释的20%太阳质量处的断档外，小质量恒星数量比大质量恒星多。主序星的质量范围从太阳质量的十分之几到太阳质量的20倍以上。质量最大的恒星看来是不稳定且高度变

化，它们不能归人主序。另见恒星演化。

stellar nucleosynthesis **恒星核合成**，见核合成。

stellar temperatures **恒星温度**，恒星表面的温度通常是对一个具有与恒星相同半径①和相同总光度的黑体计算的温度，这一温度叫做有效温度，它能很好地代表恒星的实际温度，因为恒星确实很像黑体那样辐射。另一个稍稍不同（精度也较低）的恒星表面温度的量度可通过将某个特定波长范围的波谱与黑体的同一段波谱进行比较而得，这一温度叫做色温度，它的优点是容易从标准色指数计算出来。太阳的有效温度是开氏 5,780 度，色温度是开氏 5,700 度。已观测到的主序星的有效温度总范围大约从 40,000K 到 2,500K——当然可能存在更冷的恒星，但它们太暗，从地球上难以观测。一些反常高温恒星的有效温度达到 100,000K 左右。死亡的年老白矮星终将一直冷却到与背景辐射平衡，当然这需要经历很长的时间。

恒星中心的温度比表面温度高得多（除非是一颗年老的死亡的恒星）。除简并物质构成的恒星外，恒星中心的温度由提供能量从而防止引力坍缩导致星体收缩的核聚变反应类型所决定（见恒星演化），所以中心温度的范围，特别是对于主序星，是相当窄的。太阳中心的温度约开氏 1,500 万度，这是靠质子－质子反应维持的恒星的典型温度；而靠碳循环维持能量供应的更大质量恒星，其中心温度比开氏 2,000 万度高不了多少——从比例上看，这一差别比表面温度的差别小得多。

stellar winds **恒星风**，很多恒星喷入太空的物质流。太阳风是恒星风之一例。

string theory **弦理论**，见大统一理论。

strong nuclear interaction (strong force) **强核相互作用（强力）**，见基本力。

submillimetre astronomy **亚毫米波天文［学］**，利用波长 0.3～1 毫米（甚至稍微更长）范围的电磁辐射进行观测的天文学。这既可视为极长波红外辐射，又可视为极短波射电辐射。总之，在这些波长进行观测特别重要，因为很多星际分子的辐射都在亚毫米波段。亚毫米波段的观测还能够探查恒星形成区的本质，提供有关背景辐射的信息。

亚毫米波天文学的典型望远镜采用与最常见射电望远镜十分相似

① 原文遗漏了‘相同半径’，是不应有的疏忽。——译注

的抛物面天线，但要用液氦冷却，以免观测信号被天线的热辐射所淹没。观测最好在高山进行，以尽可能减少大气中水汽对入射辐射的吸收。设在夏威夷莫纳克亚天文台的詹姆斯·克拉克·麦克斯韦望远镜就是一具典型的用于亚毫米波段的望远镜。

Sun **太阳**，太阳是一颗普通的恒星，目前已经在赫－罗图上度过了主序生涯的一半左右。它是一个质量 1.9891×10^{30} 千克（约为地球质量的33万倍）、直径 1.392×10^{6} 公里（约为地球直径的109倍）的热气体（严格说是等离子体）球。由于太阳的体积大致是地球的100万倍（体积正比于半径或直径的立方，而100的立方是100万），而其质量仅相当于100万个地球的1/3，所以太阳的平均密度只有地球平均密度的1/3，即水密度的大约1.4倍。但这一平均密度隐含着很宽的密度范围，从超高密的核心到稀薄的外层。

作为一颗恒星的太阳，其总体外观性质是，光度为 3.83×10^{26} 瓦，绝对星等为4.8，它是一颗黄色G2型矮星，有效温度等于开氏5,800度。太阳与在轨道上绕它公转的地球的平均距离为149,597,870公里（499.005光秒或1天文单位）。按质量计，它的物质构成是71%的氢、26%的氦和少量重元素。太阳圆面在天空的角直径为32角分，与从地球所见月球的角直径几乎完全一样，这是一个奇妙的巧合，使日食看起来特别壮观。（警告：为了你的健康，切莫直接看太阳，哪怕在日食时；它可能对你的视力造成永久性伤害。）由于太阳比其他恒星离我们近得多（见宇宙距离尺度），其视星等达到－26.7，成为地球上看到的最明亮天体。太阳每25.4天自转一周（平均周期；赤道比高纬度自转得快），每2亿年绕银河系公转一周。地球在轨道上绕太阳运动，意味着太阳必须多自转一点以'赶上'地球，所以从地球看，太阳自转一周似乎要27.27天。太阳因自转而呈轻微扁平状，与完美球形相差0.001%，相当于赤道半径与极半径



太阳。太阳内部结构的理想化图示，显示了三个主要区域——核、辐射带和对流带。

相差仅 6 公里。差异虽然很小,但测量这一扁平性却很重要,因为任何稍稍大一点的扁平程度(哪怕是 0.005%)将改变太阳引力对水星轨道的影响,而使根据水星近日点进动对广义相对论所做的检验成为不可信。

作为最近的恒星，太阳的研究是十分详尽的。天文学家将观测和建立在已知物理学定律基础上的模型相结合，深入探明了太阳内部发生的过程。这些太阳内部模型的正确性已由日震学和对来自太阳中心的中微子的研究所证实。虽然模型的预言和实测太阳中微子数之间略有不符（见太阳中微子问题），但人们常常未能意识到，中微子观测事实上已经证明了模型（比如在确定太阳中心温度时）是正确的，其误差不大于 10%。百分之几的差异竟引起专家们的关切，这正是说明我们当前对恒星结构的认识多么完美的一个标志；不过这点差异对大致描述太阳从内到外的各种特性是无关紧要的。

太阳的结构可用一系列壳层给以最清楚的描绘。太阳的中心，即通过核聚变反应（主要是质子－质子反应）生产能量的核心，伸展到从中心到表面距离的1/4处。这表示它只占太阳体积的 1.5%。但在这个核中，电子完全脱离了原子核，原子核如此紧密地拥挤在一起，以致核心的密度高达固体铅的 12 倍（水密度的 160 倍）。然而，由于原子核比原子小得多，即使在这样的密度下，它们也能在核中自由漫步，相互重复碰撞、反弹，与原子在气体形态下的行为一模一样。太阳的核是一种密度等于铅密度 12 倍的理想气体。

由于核的密度非常高，太阳的这 1.5% 的体积却含有太阳质量的一半。在核的中心（太阳本身的中心，那里核反应进行得最旺盛），温度约为 1,500 万 K；核的外边缘的温度约为 1,300 万 K。核中的压力是地球表面大气压力的 3,000 亿倍。在这些条件下，核反应产生的高能光子（γ 射线）形式的辐射仅仅运动很短的距离就会撞上一个带电粒子——带负电的电子或带正电的原子核。γ 射线与带电粒子相互作用，退化成能量稍低的 X 射线，从核中开辟一条出路，通过太阳外层向外传播。

尽管每个光子以光速运动，X 射线光子从核向外迁移到表面实际上却是非常缓慢的，因为它们不断地与带电粒子碰撞而反弹，就像某种发狂的宇宙弹球机中的弹子。在每一次碰撞中，光子可能朝任何方向反弹，当然也包括返回到来的方向。结果是光子沿着一条飘忽不定的曲折路径运动，即所谓的‘随机游动’，每游动一步只能行进约 1

厘米。实际上，这种游动并非完全随机。在核的外面叫做辐射带的区域，1厘米范围内的温度差异是很小的，但仍然有那么一点点差异，这种差异从根本上讲是光子正从太阳表面‘丢失’这个事实造成的，而这一点点差异保证在辐射带的每一层次上向外走的光子比向内走的光子稍微多一点。

如果光子能从太阳中心沿直线飞到表面，那么这趟旅程将只需要2.5秒钟；但实际上平均起来光子从中心漫游到表面却花了1,000万年。在这整个期间，光子一直以光速运动，所以它那条曲折路径真正有1,000万光年长——如果能把它拉成一根直线，它将延伸至地球到仙女座星系距离的5倍那样远。换一种方式讲，这意味着我们现在看到的太阳表面发生的事情，是1,000万年前太阳核心内部发生的事情的结果。仅仅依靠观测今天的太阳表面，我们无法绝对肯定核相互作用未曾在过去几百万年间的某个时候停止或慢下来（曾经有人真的认为这也许是太阳中微子问题的可能答案，但现在已被持续的中微子观测和日震学所排除）。

辐射带向外延伸到离中心约60万公里，即中心至表面路程85%的地方。等离子体由内向外逐渐变冷变稀，在太阳中心至表面距离的一半处，密度与水相同；三分之二处，密度下降到水密度的大约20%①；而在辐射带的外边缘，密度只有水的1%，而且温度也降至仅仅50万K。在这些条件下，原子核开始能够抓住电子，形成颇为稳定的原子或离子，尽管电子可能被高能光子的碰撞敲掉。但同时，来自核心区的光子已经在曲折长途跋涉中进一步退化，移向了更长的波长。这表示每个光子携带的能量相应地变少了，与所遇到的粒子相互作用也就不那么猛烈。在辐射带的顶部，原子和离子正好足够稳定，光子也正好足够疲弱，使得很多光子在与原子和离子碰撞时被吸收而且不被再发射出去。结果是原子和离子因吸收能量而变热。太阳

① 原文为‘密度下降到与我们呼吸的空气一样’，这显然有问题。我们呼吸的空气主要由氮和氧构成，就算全部是较重的氧，根据阿伏伽德罗定律，在海平面上，1摩尔氧分子（32克）的体积是22.4升=22400立方厘米，所以我们呼吸的空气密度不会超过32/22400=0.0014克每立方厘米，即远远不到水密度的1%。但这与作者后面讲的辐射带外边缘处的密度等于水密度的1%显然矛盾，因为外边缘处的密度应该比2/3距离处的密度更低。今据马丁·史瓦西名著《恒星的结构和演化》中的太阳模型数据予以改正。——译注

这一区域中的物质，由于辐射简直像是撞上一堵砖墙，在一个叫做对流带的底部倾卸能量，而确实沸腾起来了。

对流带这个名称十分贴切。恰如置于火炉上从下面加热的锅中水一样，被辐射从底部加热的对流带中的气体发生对流。热物质在对流带中上升并冷却，被从上面降下来的较冷物质取代。较冷物质已经将热量通过太阳表面辐射掉（变得比较密因而下沉）。这种对流在约占太阳 15% 的外区——从太阳表面以下深约 10 万公里[①]处直到可见表面——引起物质的沸腾。对流带的详情尚未准确认识，但知道它由上下重叠的三个主要对流层构成，它们一起延伸的距离稍小于地球和月球之间距离的1/3。

对流带的顶部与我们看见的称为光球的明亮太阳表面相接，光球的有效温度为 5,800K（实际上温度从光球底的大约 6,000K 下降到光球顶的 4,000K），密度小于水密度的百万分之一。但光球顶部的引力强度是地球表面上的 27 倍，所以光球中的压力仍有地球表面大气压力的1/6。终于，原子和电离物质不再能够阻挡外流的辐射，热物质发射的光子便自由射入太空，8.3 分钟后即可抵达地球。我们看见的太阳光全部来自这个光球层，它的深度仅仅 500 公里，不到太阳半径的千分之一。

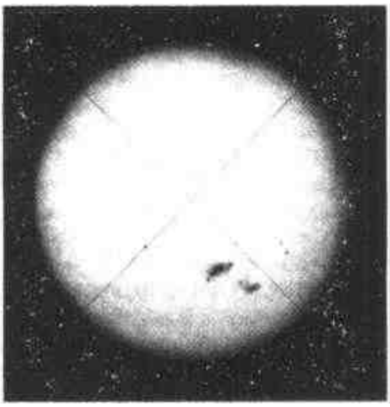
太阳表面点缀着太阳黑子和太阳耀斑之类的特征，它们与磁场在太阳活动周期间的变化有关。在可见表面之上，是稀薄的、透明的太阳大气。大气的低层叫做色球，其中温度再次上升，从色球底部的 4,000K 左右，到可见表面上方几千公里的色球顶部的 50,000K。显然，色球吸收从太阳出来的能量；而这一加热在色球之上仍在继续，但至今没有找到这种加热如何发生的令人满意的解释。从色球向外，经过一个几百公里厚的过渡区，就到了更加稀薄的日冕。日冕中，离太阳表面约 75,000 公里的高处，温度达到开氏 200 万度的峰值。日冕向空间延伸数百万公里，与从太阳出来的粒子流形成的太阳风融为一体。

另见恒星演化。

sunspot **太阳黑子**，太阳表面的暗斑。太阳黑子的直径多在 1,000～40,000 公里之间，它们显得暗是因为它们比周围的明亮太阳表面冷 1,500K 左右。太阳黑子是强磁场压制对流而造成的（见太阳活动

① 原文为 15 万公里，与 15% 冲突，且与前面提到的辐射带边缘位置不一致。但细心的读者可能会发现，即使采用 15 万公里，仍然与日震学得到的 20 万公里不符（见 193 页），而这正是理论家们要解决的问题。——译注

周)。



太阳黑子。1947 年 4 月 9 日的一个大太阳黑子群，摄于好望角皇家天文台。这群黑子覆盖 100 亿[①]平方英里的面积（图中的十字丝是望远镜的）。

sunspot number　太阳黑子数，见沃尔夫数。

Sunyaev-Zel'dovich effect　苏尼亚耶夫-泽尔多维奇效应，背景辐射因受视线方向上富星系团中物质的影响而发生的畸变。真正与背景辐射作用的物质是星系团中星系周围的热等离子体。这些等离子体的密度按地球标准是非常低的，但已高到足够引起背景辐射可探知的变化。背景辐射的光子被热等离子体中的电子散射到较高能量，这就使得抵达我们射电望远镜的对应于射电波的光子变少。虽然这意味着能量较高的光子（波长较短）增多了，但只要我们考查的是射电观测，那么苏尼亚耶夫-泽尔多维奇效应的结果就是使来自观测天区的背景辐射显得较冷。

拉希德·苏尼亚耶夫和雅可夫·泽尔多维奇于 1972 年（当时在莫斯科工作）预言的这个效应，将使背景辐射温度仅仅改变万分之一(0.01%)，但已确实在几个星系团中测出来了。这一点很重要，原因有二。第一，背景辐射受星系团影响这个事实，证明它确实来自那些星系团后面的宇宙远方——也就是说它确实是'背景'辐射。第二，将这一效应的实测结果与星系团在 X 射线波段的亮度进行比较，就有可能估算出哈勃常数值。由苏尼亚耶夫-泽尔多维奇效应的强度可以得出星系团中产生 X 射线的热等离子体有多少（典型结果与该星系团的星系中全部明亮恒星所含的质量大致相同），而这又给出星系团的 X 射线绝对光度。因此，再测出星系团的 X 射线视光度，便可知道它有多远。将这一距离与红移

① 原文误为 100 万。100 万平方英里面积的黑子群是很小的黑子群，今据'太阳活动周'条目的数据（380 页）改正。——译注

比较，就给出哈勃常数。遗憾的是，由于效应很小，测量很困难，得到的哈勃常数值仍然不很确定。不过这些数值接近用其他方法所得数值范围的低端，即大约 40～50 公里每秒每百万秒差距。

supercluster　超星系团，见星系团。

supergiant　超巨星，最大也最亮的恒星。超巨星的质量可以高达太阳质量的 500 倍，绝对星等－5～－10，其亮度足以在其他某些星系中看到它们。由于最亮超巨星的亮度有一个上限，所以它们的视星等可用作距离的量度。

supergravity　超引力，力图用同一组方程式描述引力和其他基本力的一类统一理论。超引力和弦理论的结合导致了超弦理论的提出。另见大统一理论。

superluminal source　视超光速源，两个组成部分看起来以高于光的速率彼此分开的射电源或其他天体。这往往是某种光学错觉，即当速率达到光速相当大比例的物质喷流，与视线相交一个合适角度（几乎是迎头直冲我们而来）在天空中运动时，所产生的几何投影效应。这一效应甚至与相对论力学无关，而能完全用牛顿运动定律加以解释；它在 1970 年代发现第一批视超光速源之前不久就已经由马丁·里斯所预言。类星体 3C 273 的喷流就显示了这一效应。

Supernova 1987A　超新星 1987A，发明天文望远镜以来所看到的最近的超新星，也是 1604 年开普勒看到超新星以来地球上肉眼可见的第一颗。超新星 1987A 是 1987 年 2 月 23～24 日那个夜晚从地球南半球最先看到的。它是大麦哲伦云中一颗距离约 160,000 光年的恒星爆发而成；它的前身星后来根据老照片证认为一颗叫做桑达利克－69°202 的超巨星。

超新星 1987A（记为 SN 1987A）是 II 型超新星，对它的研究动用了南半球差不多所有天文仪器，爆发产生的中微子在北半球也探测到了（见中微子天文学）。这些观测获得的丰富信息证明，超新星的性质与超新星理论模型的预言非常一致。而爆后超新星波谱中出现的特征对应着钴和镍同位素经放射衰变而形成铁，从而提供了超新星的爆发核合成创造了这些重元素的重要证明。由于超新星 1987A 在爆发前、爆发中和爆发后都有照相记录，而使它成了这类事件的典范。爆发前，桑达利克－69°202 在照片上显现为一颗视星等为 12 的暗弱天体；1987 年 5 月亮度最大时其视星等达到 2.8，即大约增亮了 5,000 倍。

supernovae　超新星，超新星是恒星通过爆发而死亡的事件，它是如此猛烈，使得单个恒星在短时间内的

亮度与含有上千亿颗类似太阳的普通恒星的整个星系的亮度一样。这样的事件比较少见。大多数恒星以远为平静的方式结束其生命，在我们银河系这样的星系中，超新星每百年才出现几颗。但这些事件对星系演化、对诸如我们人类等生命形式的存在，均至关重要，因为超新星既加工了比铁更重的所有元素，又在爆发时把这些以及其他重元素散布到太空中。你身体中的很多物质，就是在已经爆发为超新星的恒星内部加工出来的原子构成的，是超新星把这些元素扩散到星际物质中，而星际物质又能形成新的恒星、行星和人类。我们简直就是用恒星尘埃制造成的。

所有超新星爆发时的巨大能量，都是在恒星的核突然坍缩、直到变成中子星（在某些情况下也可能变成黑洞）般大小的过程中，经由基本相同的途径产生的；然而这种坍缩的触发却有两种不同的方式，而且它们产生两类外貌颇为不同的超新星（超新星个体之间还有更加细微的差异，因为不存在彼此全同的两颗恒星，不过这些差异不如主要差别重要）。这两类超新星叫做I型和II型，它们最初是根据光谱学研究加以区分的——II型超新星光谱中有氢的谱线，I型超新星光谱中却没有。通过超新星光谱的长期观测研究，以及观测与计算机模型的比较，现在已经能够将这种差异解释为两类超新星形成方式的不同。

I型超新星可出现在椭圆星系和盘状星系中，但并不显示更多出现在旋臂中的倾向。它们由较低质量的老年星族II恒星的残骸所形成，也出现在一颗子星已经演化到白矮星阶段（见恒星演化），并通过吸积从伴星获取物质的双星系统中。随着白矮星质量增加，它终于超过稳定白矮星的昌德拉塞卡极限（约1.4太阳质量），于是星体在自身重量作用下坍缩，将引力能以热能形式释放，并触发一阵产生大量中微子的核反应高潮。

I型超新星又分为几个次型，其中Ia型和Ib型之间的差别最为主要。Ia型超新星光谱中有硅的强



超新星。即将爆发成为超新星的大质量恒星的内部结构。

谱线，Ib型超新星则没有。Ia型超新星释放的能量被认为能将坍缩白矮星炸散，喷发成一个质量与太阳相近的物质云，形成一个以数万公里每秒的速率向外运动的膨胀气壳（见超新星遗迹），从而导致星体完全瓦解。所有Ia型超新星看来具有相当一致的光度（对应的峰值绝对星等为 -19），这使它们成为可用于估计近邻星系距离的很有效的'标准烛光'。

比Ia型更常见的Ib型超新星的触发方式被认为基本相同，但出场的白矮星是由较大质量恒星因强烈恒星风而失去外层后遗留下来的。与Ia型超新星的最重要差别是，Ib型超新星真的剩下一个中子星或黑洞形式的残骸。然而在这两种情形下，双星系统看来都在爆炸中瓦解，将原始白矮星的伴星猛然抛向太空，成为所谓的'速逃星'。有一个很有趣的例子，三颗速逃星——白羊座53、御夫座AE和天鸽座μ——似乎是从猎户座中的同一个点射出，而且几乎肯定它们都是大约3百万年前一个四合星系统中发生的一次超新星爆发遗留下来的。

II型超新星也能发生在双星系统（毕竟大多数恒星是双星的成员）或孤独恒星中。它们是富含重元素且主要出现在盘状星系旋臂中的年轻大质量星族I恒星爆发而成。这些恒星在消耗完它们的核燃料时仍然拥有至少8倍太阳质量，它们如此巨大，甚至恒星风造成的物质抛射也不能把它们的剩余质量减少到昌德拉塞卡极限以下，因而即使没有从吸积中受益，它们的核心也必然坍缩。II型超新星的个体差异比Ia型显著（Ib型更像II型），亮度也较低——它们的绝对星等可达 -17 左右。但它们的性质已经了解得相当不错，以下描述的大部分细节已经由超新星1987A的研究得到证实（虽然该超新星实际上并非十分典型，因为研究表明它的前身星看来在最后坍缩之前已经损失了部分大气）。

关键性的理论洞察应追溯到发现中子以前不到两年的1934年。当时，瓦尔特·巴德和弗里茨·兹威基提出'超新星代表着从普通恒星到中子星之间的过渡'。但这一思想直到1960年代辨认出脉冲星就是中子星，而且蟹云脉冲星就在1054年从地球上观察到的一次超新星爆发所在地之后，才开始被全面接受。那时以来，不同研究者提出了各种模型来描述超新星现象，尽管模型略为不同，其基本特征则一样。这里讲述的概要乃是根据圣克鲁斯加利福尼亚大学的斯坦·伍斯利（Stan Woosley）及其同事们的计算，它描述了类似爆发成为超新星1987A的那样一颗恒星死亡前的

挣扎。

这样一颗恒星形成于大约1,100万年前，其初始质量是我们太阳质量的18倍，所以它必须猛烈迅速地燃烧它的核燃料，以支持星体对抗引力。结果，它的亮度高达太阳的40,000倍，仅仅1,000万年就把核心的全部氢转变成了氦。随着恒星内部收缩和变热，氦燃烧得以开始，而恒星外部膨胀，使它变成超巨星。但氦燃烧只能继续支持恒星100万年。

一旦核心区的氦燃料供应枯竭，恒星就越来越快地燃烧其他燃料。通过将碳转变为氖、镁和氧等元素，恒星可以支持12,000年；氖燃烧能支持12年；氧燃烧只能支持4年；最后的绝望挣扎是动用硅的聚变，这也只能使恒星稳定一星期。以后的事情就十分有趣了。

硅燃烧甚至在大质量恒星中也是聚变反应的终点，因为它产生的各种原子核（如钴、铁和镍）是可能形成的最稳定的核。要制造更重的元素需要注入能量（见核合成）。就在超新星爆发前，所有能够导致生成这些铁族元素的常规核反应都是在围绕核心的壳层内进行的（也包括s过程的作用）。但全部硅转变为铁族元素后，在不到一秒钟的时间内核心就从太阳般大小坍缩成直径仅仅几十公里的团块。在这个初始坍缩阶段，引力能转化为热，产生大量高能光子，这些光子将核心中的重原子核拆开，正好与此前1,100万年间的核聚变的作用相反。铁原子核的这种‘光致蜕变’是威利·福勒和弗雷德·霍伊尔在1960年代最先指出的。随着重原子核分裂成较小的核甚至个别质子和中子，电子便一反β衰变之道，被挤压进原子核和个别质子。这一切的能量来源于引力。留下来的是一个中子物质球，它本质上是直径约200公里、质量约太阳一倍半的单个‘原子核’。

这一阶段的坍缩是如此强烈，以致这时中子球中心被压缩到密度甚至超过原子核内的密度。于是它往外弹回，向中子球物质和更外面的恒星发出激波。恒星外层物质(仍然拥有至少15倍太阳质量!)的底部在核心坍缩时被往下拉，这时以大约1/4光速向内部降落。但是，当激波与下降物质相遇时，它把向内的降落往回推，造成一个向外运动的波阵面，而将恒星吹散——但不会发生在这一切活动期间发射的大量中子通过r过程产生显著数量很重元素之前。

核心第二次亦即最终一直变成直径仅20公里的中子星的坍缩过程中产生的中微子强劲风暴跟随在激波后面，并很快赶上它。这个从容不迫的过程经历几十秒钟（不是

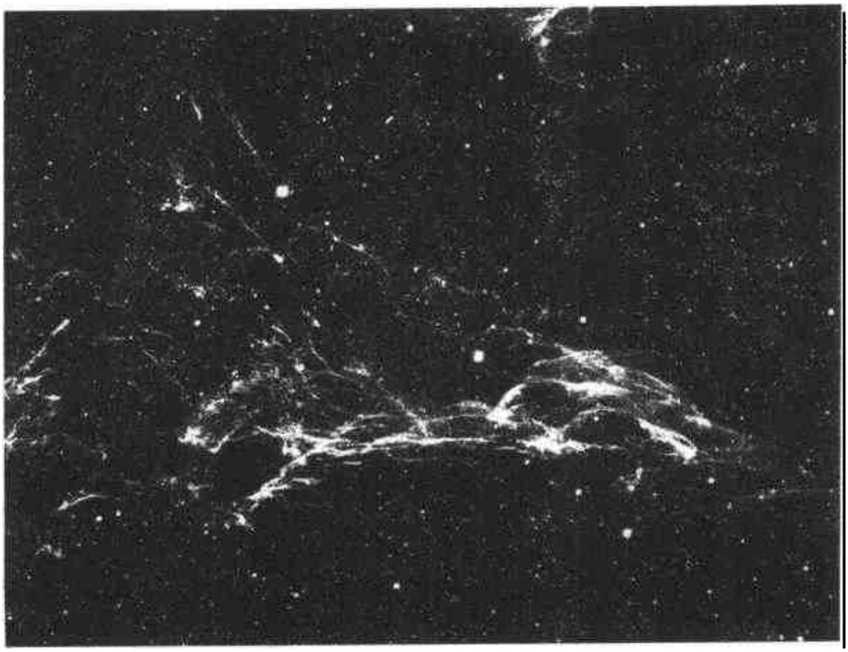
十分之几秒）便完成了。这时，向外传播的激波力图推开它前面的15个太阳质量的物质，开始停顿下来。但由于激波停顿，波阵面的物质密度变得如此之高，甚至一部分以光速赶上激波的中微子也被它吸收，将足够的能量转移给激波，使激波得以再次开始往外传播以完成将恒星外层吹散的使命。其余的中微子则携带着等于超新星最终辐射可见光的200倍的能量，径直通过恒星外层面通向宇宙；对于超新星1987A，仅仅屈指可数的极少数中微子终于在地球上被探测到了。

这是一个极其重要的发现，因为天体物理学家计算出，如果没有中微子的额外推动，激波便会止息，超新星也就绝不可能炸开。大量中微子的在场，是模型的最关键预言。当超新星1987A的中微子真的被探测到，很多理论家都宽慰地舒了一口气。即使有中微子的推动，现在以大约2%光速运动的激波花了两个小时才把恒星外层推向太空，并使恒星增亮而成为可见的超新星——这就是地球上探测到中微子略早于恒星明显增亮的原因。

当这一切正在进行的时候，尽管恒星的原始铁质核心已经转变为中子球，根据理论，高温高压激波中的大规模突发核反应应该产生了一直到包括铁族在内的很多重元素。这一活动的主要产品之一当是镍-56。镍-56是不稳定的，它通过相继的放射衰变，首先（以刚刚超过6天的半衰期）变成钴-56，然后钴-56（以77天的半衰期）再变成铁-56；铁-56则是稳定的。

至少理论是这么说的。对超新星1987A爆发后亮度衰减的观测表明，在头100天内，93%的能量确实是钴-56的衰变所提供，而且随着超新星继续减弱，观测依旧辉煌地证明了理论模型的正确。苏塞克斯大学的罗杰·泰勒（Roger Tayler）形容这些观测是‘关于重元素起源的最重要、最令人激动的观测，它们证明［核合成］理论模型总体上是正确的’。光谱研究显示，超新星1987A生产了相当于8%太阳质量那样多的镍-56。

因此，根据1930年代中期以来对几百颗超新星的观测，和前几个世纪天文学家（包括第谷·布拉赫于1572年和约翰尼斯·开普勒于1604年）对屈指可数几颗超新星的记录所建立的模型，已为超新星1987A的详细性质证明为正确。每年大约有10颗超新星在其他星系中发现，但从天文望远镜发明以来银河系中一颗也没有。超新星爆发时，虽然可见光是我们的视觉最敏感的特征，但被爆发吹跑的恒星物



超新星遗迹。幕状星云，又称 NGC6979，是 3 万到 4 万年前爆发的一颗恒星的碎片构成的。

质带走的能量 10 倍于此，而超新星核心达到大约开氏 480 亿度（相当于 420 万电子伏）的温度时产生的中微子形态的能量更是高达 100 或 200 倍。所有这些都来源于恒星核心坍缩时释放的引力能。即便超新星的可见光只占所释放能量的较小比例，不到一天就增亮大约15～20星等而达到最大亮度的恒星，仍然能在一星期左右时间内使其母星系中其余全部恒星加在一起的总亮度相形见绌。然后，随着爆炸时产生的不稳定原子核特别是钴－56 通过放射衰变继续释放能量，它的亮度缓慢下降，几年以后才回复到原来的水平。

supernova remnant (SNR)　超新星遗迹（SNR），超新星爆发时被吹跑的恒星外层形成的膨胀物质壳。有些超新星遗迹可通过它们辐射的可见光而被看见；另一些则只能在 X 射线和射电波段观测。当超新星的

激波向外通过星际物质时，它加热恒星之间的气体，产生一个回弹并同样对超新星遗迹中的物质加热的反射激波。正是这一加热作用将物质提升到能够发射 X 射线的温度。在激波内，电子被加速并以同步加速辐射的形式发射射电波。

虽然膨胀物质壳基本上是球形，但我们在壳‘皮’稠厚的地方，即围绕超新星爆发点的一个环中看到的辐射最明显；然而遗迹中的物质常常分裂成一些团块，所以见到的辐射并非总是呈现出完美的环。

大多数超新星遗迹奋力冲进星际物质时都将减速，但在少数情况下（最显著的是蟹状星云）壳仍然被超新星留下的中央脉冲星发射的、以达到光速显著比例的速率运动的电子向外驱动，这些电子可根据它们在超新星遗迹壳内部空间发射的同步加速辐射来探测。膨胀的超新星遗迹对星际物质的压缩能够触发恒星形成的新高潮。超新星遗迹可以胀得很大，在消散于星际物质中之前延伸到直径达数百光年之巨。强有力的证据表明，太阳就是大约 50 亿年前，在一个超新星遗迹膨胀壳内的一个松散星协中，与其他很多恒星一起形成的。

superstring theory　超弦理论，兼顾超引力概念和超对称性观点的弦理论的新发展。有些数学家将超弦理论视为通向万物之理的最有希望的途径。见大统一理论。

Supersymmetry (SUSY)　超对称性(SUSY)，大统一理论的发展，它认为玻色子和费密子之间存在对称，使得粒子世界中的每个费密子有一个玻色子对应物，每个玻色子有一个费密子对应物。所有这些‘超对称伴子’都还没有发现；已知的玻色子不是已知的费密子的超对称对应物。假想的光微子是光子的对应物，而夸克的假想对应物被命名为斯夸克①。所有这些‘新’粒子中，只有‘最轻的超对称伴子’(可能是光微子）将是稳定的；但如果这样的粒子真的存在，它们有可能提供宇宙中的一部分暗物质。

symbiotic stars　共生星，描述光谱中既有可归因于冷星（诸如红巨星）的特征，又有热天体典型发射线的恒星的名词。这表明同一个天体上同时存在可见波段温度低于开氏 4,000 度左右的物质和温度高于开氏 20,000 度的物质。最可能的解

① 原文为‘squark’，尚无公认的标准中译名。因‘夸克’乃‘quark’的音译，故亦音译为‘斯夸克’。——译注

释是，这样的‘恒星’是密近双星系统（甚至可能是半接双星），其中冷子星的物质下落到白矮星（也可能是中子星或甚至主序星）伴侣上而形成一个热斑。热斑的辐射使下落的气体电离，从而辐射出热气体特有的发射线光谱。

这个名词已经变成了某种包罗万象的摸彩袋，因为共生星中既有很多变星，也有变化不太明显的恒星，还有一些再发新星。有一个被分类为共生星的天体特具魅力，那就是宝瓶座 R 系统，它有一条长约 1,500 天文单位、以 2,000 公里每秒的速率从中央恒星向外运动的狭窄喷流，犹如SS433 系统中喷流的缩影。共生星有时又叫做仙女座 Z 型星，因为仙女座 Z 是最早研究的共生星之一。

synchrotron radiation **同步加速辐射**，在磁场中高速（达光速的相当大比例）运动的带电粒子（如电子）产生的特有的电磁辐射。电子运动越快，辐射的波长越短。同步加速辐射在超新星遗迹、河外射电源和脉冲星中都已观测到。

syzygy **朔望**，表述太阳、地球和另一个天体排成直线的总词语。三个天体沿直线的排列顺序无关紧要，所以朔望把造成日食和月食的排列都包括在内（一般也包括每次满月和新月时的排列）。地球上的最大潮汐（大潮）于每月的朔望发生两次。朔望也用来指太阳、地球和其他行星的合和冲①，有时（严格说是不对的）甚至也指两颗或更多行星与太阳的排列，尽管此时地球并不在同一直线上。

① 中文不用‘朔望’来指‘合’和‘冲’。在中文中，‘合’和‘冲’指太阳、地球和另一颗行星的排列；‘朔望’指太阳、地球和月球的排列，而且‘朔’对应新月，‘望’对应满月，意义不同。但英文的‘syzygy’是‘朔’和‘望’的合称。——译注

T

tachyons 快子，永远快于光速运动的假想粒子。虽然狭义相对论声称任何粒子都不可能从低于光的速率加速到高于光的速率，但事实上狭义相对论方程式还有一种对应着永远快于光速运动的粒子的解。

这些'超光速'粒子如果存在，它们的性质将是普通亚光速粒子的镜像反转，以致永远不可能，比如说，减速到低于光速。一个高速运动的普通粒子趋向于损失能量并减速，而一个快子却趋向于损失能量并加速——就好像亚光速粒子和超光速粒子都想尽可能远离光速。因此，如果在太空某种猛烈事件中形成了一个快子，它就会把能量疯狂地辐射出去（其形式也许是引力辐射或电磁辐射），并跑得越来越快，直到它的能量变为零（因而不能探测到）并以无穷大速度运动为止。

大多数物理学家认为快子并不存在，而描述它们的方程式的解就像简单二次方程式的'负根'那样没有意义。例如，我们可以（相当笨拙地）把某人的身高说成'4 的平方根米'。4 的平方根可以是 +2 或 -2，但我们显然不可能把这个人形容为 -2 米高。

然而，如果快子确实存在，它们就将具有另一个奇怪的性质——它们应该在时间上逆向运动。这刺激了某些研究宇宙线的物理学家去寻找正好在宇宙线暴之前有太空粒子到达这样的'先兆'事件。他们的论据是，如果宇宙线起源于太空高能粒子撞击地球大气顶部，那么任何同时产生的快子应该正好在宇宙线暴发生之前抵达地面，因为它们在降至地面的途中是逆时间旅行的。可惜并未找到存在这种先兆快子的决定性证据。另见时间旅行。

Tammann, Gustav 塔曼，古斯塔夫（1932 – ），瑞士天文学家，他和艾伦·桑德奇一道，同为哈勃常数比较小、因而宇宙年龄比较大这一观点的主要支持者。塔曼 1932 年 7 月 24 日出生在格廷根，求学于巴塞尔、格廷根和弗莱堡等大学，1961 年获巴塞尔大学博士学位。他也曾在威尔逊山天文台、帕洛马山天文台、海尔天文台、加州理工学院和欧洲南方天文台工作；1976 年以来任巴塞尔大学天文学教授。

tau particle τ 粒子，轻子的一种，是电子的较重对应物。见基本粒子。

Taurus A 金牛座 A，与蟹状星云相

连的射电源。其射电波的大部分是星云本身的同步加速辐射，少量是蟹云脉冲星的辐射。

Taurus X-1　金牛座 X－1，与蟹状星云相连的X射线源，是1963年发现的第二个X射线源（除太阳外）。

Taylor, Joseph Hooton, Jr　泰勒（小）约瑟夫·胡顿（1941－），美国天体物理学家和射电天文学家，他与罗素·胡尔斯一道于1974年发现了脉冲双星。1993年，泰勒和胡尔斯因对这一天体的研究而分享诺贝尔奖。

1941年3月29日泰勒生于费城，曾在哈维福特学院和哈佛大学学习，并在马萨诸塞大学工作，后于1980年被聘为普林斯顿大学物理学教授。他是在马萨诸塞大学工作期间与他的学生胡尔斯发现了那颗脉冲双星——PSR1913＋16。

TD-1　特德1号［卫星］，1972年发射、进行了首次紫外巡天的欧洲卫星。

telescope　望远镜，任何用于收集来自地球大气以外的辐射的仪器都被天文学家称为望远镜，所以它们包括射电望远镜、红外望远镜、X射线和γ射线探测器、宇宙线望远镜、甚至探测中微子或引力辐射的仪器。但人们提起望远镜时首先想到的则是与日常望远镜本质上相同的光学天文望远镜，它们是一切其他类型探测器所根据的原型。

光学天文望远镜的重要功能是收集并会聚暗弱天体的光，使它们亮到可以看见、或拍照、或用电子探测器如电荷耦合器件进行记录。望远镜放大像的功能在天文学中是次要的（虽然研究太阳系内天体时有用），因为即使在望远镜中恒星仍然只能显示为光点。不过星系结构的研究可在一定程度上从望远镜的放大能力受益。但是，更重要得多的是望远镜应该具有高的分辨率——这样才能区分天空中靠得很近的两个天体，或显示诸如遥远星系结构的细节。

折射望远镜采用大的透镜作为主要的光线收集器，而反射望远镜则用大的反射镜面。在这两类望远镜中都还要用其他一些较小的透镜或镜面或兼用两者，将被测天体的光聚焦在某个便于研究的位置。望远镜的大小通常用它们的主反射镜或主透镜的直径表示。世界最大的折射望远镜在叶凯士天文台，它的孔径是102厘米；反射望远镜可以做得大得多，因为它们的主反射镜能从后面支撑，所以不会遮挡镜面收集的光，目前已经有不少孔径超过3.5米的反射望远镜投入使用。天文折射望远镜与观察远方地面目标的望远镜基本相似，但要大得多；反射望远镜的三个主要类型是牛顿望远镜、卡塞格伦望远镜和施密特照相机。施密特照相机不仅仅

用于天文照相，很多业余天文爱好者也把它当作‘普通’望远镜使用。

今天正在使用中的最重要光学望远镜全都是反射望远镜，其中一些的主反射镜乃用玻璃制成，但更多的是用其形状不随温度而变的陶瓷材料。反射镜表面要加工成确定的形状，一般是球面的一部分或抛物面的一部分，抛光的精度要达到光波波长的若干分之一；然后在镜面上（像涂上薄薄一层颜料那样）镀上一层薄铝膜。这层薄铝膜才是真正的反射表面。最新的光学望远镜所用的主反射镜比老望远镜的薄而轻，它们的形状用所谓的主动光学系统不断加以控制，即通过计算机不断调节镜面支撑机构以保持所要求的面形；这就有可能建造更大的望远镜。在这一技术进一步发展的基础上，现在制造的望远镜已能通过改变镜面形状而自动补偿恒星（或其他天体）的光穿透地球大气时产生的不断变化的畸变。例如，这种自适应光学技术的一种方案目前正在亚利桑那州斯图尔德天文台的多镜面望远镜改造而成的6.5米望远镜上采用。

经典形式的射电望远镜在概念上与光学望远镜极为相似，它们采用的巨大碗形天线起着与光学望远镜主镜完全一样的作用，但由于射电波的波长比光波的波长长得多，所以虽然天线形状依然必须具有一个波长以下的精密度，但在绝对意义上其光滑程度不必像光学望远镜镜面形状那样高。

然而，要获得高分辨率，则孔径必须比所研究的辐射波长大得多。优良光学望远镜的分辨率大约是0.5角秒，这要求直径为波长500,000倍的反射镜具有十分之一波长的抛光精度。而工作于21厘米波长的射电望远镜要达到同样分辨率，仅要求抛光精度2厘米——条件是抛物面天线直径要达到100公里！这就是射电天文学家不得不采用诸如综合孔径等方法的原因。

很多射电望远镜甚至不用传统的抛物面形天线，而是用其他形式的天线来捕捉空间射电波（例如，见脉冲星）。在其他波段，有些仪器，如红外望远镜，与光学望远镜十分相似；而另一些，如探测宇宙线的设备，或某些中微子探测器的主体容器，则与光学望远镜毫无共同之处。然而所有这些对天文学家来说都是望远镜。

temperature 温度，温度是物体所含热量——即构成该物体的原子和分子的运动有多快——的量度。电磁辐射也有温度，它是辐射的能量有多高的量度，且与辐射中不同波长的光子数有关（见黑体辐射）。虽然历史上有过各种温度标，但今天作为温度测量科学基础的则是开氏

温度标，它是以不同温度物体之间热量流动速率的测量为依据的。按照定义，如果没有热流，也就没有温度差；测量的热流越大，温度差也越大。

开氏温度标的基本特性是，存在一个任何物体都不能再放出热量的温度，叫做绝对零度。处在 0K（大约是 -273℃）的物体仍然含有热量，但无法放出来，其原因要用量子理论来解释。自然界的一条基本定律是，热不可能自发地从较冷物体流向较热物体（见热力学第二定律），而总是从较热物体流向较冷物体。

terrestrial planets **类地行星**，离太阳最近的四颗岩质行星——水星、金星、地球和火星。它们和地球相似的程度不同，但与气态巨行星（有时称为类木行星）相比，它们都是类地行星。冥王星情况特殊，不属于这两个主要类别行星的任一类。

Thales of Miletus **泰勒斯（米利都人，约公元前 624 - 548 年）**，第一位科学家。根据他关于世界内在秩序不应析求神灵或神秘过程，而要用可为人类理解的自然原因来解释的教导，可以认为泰勒斯是创立了西方哲学并开辟了物理宇宙学研究的希腊哲学家。我们所知道的泰勒斯的工作几乎全部来自亚里士多德的著作。亚里士多德说，泰勒斯曾提出世界由水构成，地球是一个浮在水上的盘，他用这个漂浮地球的思想解释地震。他的模型之所以重要，不在于那些早已过时的细节，而在于他试图用实际事件和定律来解释自然现象这一事实。他也是几何学先驱，明确定义了小熊星座并写了一篇论文阐述这个星座对航海的价值。

泰勒斯并不害怕钱多烫手，看来他还是心不在焉先生们的鼻祖，传说他有一次漫步仰望星空时掉到井里去了。但亚里士多德说，有人指责泰勒斯为不切实际的空想家，然而他却正确预计来年天气条件将带来油橄榄丰收，于是买断全部橄榄油压榨机，垄断市场而发了财。

theory of everything **万物之理**，见大统一理论。

Thomson, William **汤姆孙，威廉**（1824 - 1907），见开尔文（拉格斯的开尔文男爵）。

Thorne, Kip S. **桑尼，基普·S.**（1940 - ），美国理论物理学家，对广义相对论情况下的引力及其在宇宙中的各种效应，包括黑洞本质研究和引力辐射搜寻，均做出了重大贡献，1980 年代末曾领导加州理工学院一个研究组论证了我们现在掌握的物理定律中没有任何东西禁止时间旅行。

桑尼 1940 年 6 月 1 日生于犹他州的洛根，在加州理工学院和普林斯顿大学上学。在普林斯顿时，

他师从约翰·惠勒，于1965年获博士学位。1962年，在即将从加州理工学院本科毕业时，他向那里的一位著名天文学家征询今后工作的意见。他被告知，任何情况下都不要研究广义相对论，因为它'与物理学和天文学的其他部分几乎没有关系'(引自克利福德·威尔著《爱因斯坦是对的吗?》[18]一书)。幸而桑尼未听从这一劝告，他很快回到加州理工学院，从此一直工作于此，目前(1995年)担任理论物理学费恩曼教授之职。他是1960和1970年代重新燃起人们对广义相对论兴趣的引路明星之一，他与约翰·惠勒和查尔斯·迈斯纳(Charles Misner，1932－)合作撰写了观点明确的《引力》一书，该书自1973年出版后一直是认真攻读这一科目的大学生们的标准课本。

桑尼对黑洞的兴趣导致他和斯蒂芬·霍金之间一次著名的打赌。当时天鹅座X－1初步证认为黑洞，霍金打赌说那不是黑洞——其实他希望自己赌输。如果这一黑洞证认被证明无误，霍金将为桑尼订阅一年的《楼顶屋》；如果天鹅座X－1被证明不是黑洞，桑尼将为霍金订阅四年的《私人侦探》。结果霍金在1990年支付了他的赌注(大多数天体物理学家认为他支付得太晚了)。

Three Degrees K radiation 开氏三度辐射，见背景辐射。

tidal forces 潮汐力，一个大物体在引力场中沿轨道(或任何路径)运动时即发生潮汐。在引力场中，该物体的行为就像其全部质量集中于一点——质心——一样，所以质心是在完全正确的轨道上运动。但由于我们讨论的是延伸物体，它的质心以外的所有部分都不在完全正确的轨道上运动。例如，当行星在围绕太阳的轨道上运动时，行星上比质心离太阳更远的部分被拖着运动得比按其到太阳距离应有的正确轨道速率更快，而行星上比质心离太阳更近的部分则是被从其正确轨道速率往回拉。这种情形的总效果就是出现将行星沿着一根连接行星质心和太阳的直线朝两个方向往外拉离质心(而从另外两边将行星沿着垂直于质心和太阳连线的方向往里压缩)的潮汐力。

这样的力甚至在地球这类行星的固体表面也能产生潮汐(如果加上月球影响，将使你每天上下运动约半米)。但潮汐对大气和海洋的影响要显著得多，在潮汐力的作用下，大气和海洋可以环绕行星流动，结果在海洋水体中造成两个鼓包，一个在地球朝向太阳的一边，另一个在地球背离太阳的一边，同时在两个侧面形成两个低凹。

实际上，太阳在地球上引起的潮汐只有月球引起的潮汐的一半

大，因为尽管月球比太阳小得多，但却离地球近得多。我们通常并不认为地球在轨道上绕月球运动，但正确的说法应该是，在这个两体系统（与任何其他双星系统一样）中，地球和月球两者都在各自的轨道上绕它们的共同质心运动。地球'绕之运动'的中心实际上在地球表面以下，这使情况稍稍复杂些，但仍然会造成两个高潮，一个出现在地球上面向月球的一边，另一个出现在相反的一边。

月球潮汐力和太阳潮汐力的结合造成了地球潮汐的总图像。新月和满月时（太阳和月球的影响相加）发生大潮，半月时（太阳和月球的影响相互抵消）发生小潮。潮汐的这一规律因水体环绕地球流动而被改变，而地球自转也引起地球上的每个点每天在两高潮和两低潮的这一总图像中扫过。

time 时间，人人都知道时间是什么，但无人能说明时间是什么。在物理学中，时间的重要性在于它提供了一个将事件排序的参考系（一组坐标），在这一参考系中，一件事发生在另一件事之前或之后。然而重要的是，虽然它定义了一个时间之箭，但任何物理定律都没有说时间真的从过去经过现在流向未来。所有时间都处于相等的地位。

这一点在狭义相对论中表现得最明确。在狭义相对论中，时间被看成与我们熟知的三维空间平等的第四维度。你可以把全部空间和时间想像为一幅描述宇宙全部历史、现状和未来的四维时空图。这就产生了有关命运和自由意志本质的有趣问题——未来是否在某种意义上'已经在那里'，正在等待我们的意识越过它呢？但量子理论的内在不确定性认为，一个包容相对论和量子理论的更好理论可能将时间的模糊性恢复为时空描述。

当科学家仅仅用时间作为两事件之间的间隔（用秒或其他合适单位）或某过程经历的长短的量度时，他们的处境是比较有把握的。幸运的是，本书涉及的大多数情况都是在这种直截了当的意义下谈论时间的，除非特别指出，其深层的哲学内涵可以不必考虑。

time dilation 时间膨胀，相对于观测者高速运动或静止在强引力场中的钟的变慢。见狭义相对论、广义相对论、红移。

time travel 时间旅行，令大多数物理学家惊奇而大多数科幻作家高兴的是，1980年代末的研究表明，真正的时间旅行并不为我们目前理解的物理定律所禁止。这并不意味着可以轻而易举制造出实用的时间机器；但却确实意味着制造这样的时间机器并非不可能。更重要的是，它意味着宇宙中可能自然存在能起到时间机器作用的物体。

事实上，至少有两种制造时间机器的可能方法。第一种可能性是1973年弗兰克·狄普勒在马里兰大学工作时指出，并于1974年发表在声望极高的《物理学评论D辑》上（第9卷，2203～6页）。其办法是制造一个极高速自转的裸奇点（实际上是自转将视界抛掉而暴露出奇点）。在靠近奇点——倘若不高速自转便会隐藏在视界后面——的区域，时空在奇点的强引力场作用下极度畸变，自转的效果是把这个区域的时空卷绕起来，将时空翻倒，使得空间的一个维度被时间维度取代。结果是，一艘小心领航的空间飞船可以非常接近奇点，并沿着一条轨道进行在飞船上所有乘客看来是通过普通空间而实际上是通过时间的旅行。当飞船从强引力场中出来时，乘客将发现他们自己所处的时间不同于他们开始旅行时的时间。

根据狄普勒的计算，如果你有一个长约100公里、直径约10公里、用压缩到刚刚超过中子星密度的物质制成、并且每毫秒自转两次的圆柱，你就可以做这件事。这样一个圆柱很像10个中子星极点对极点连接起来并强烈扭转。制造这种时间机器的主要困难是防止引力将圆柱沿其长度方向压碎。然而奇妙的是，宇宙中就有近似满足要求的天体，那就是毫秒脉冲星——它们的物质密度几乎恰到好处，它们每1.5毫秒自转一次，是制造时间机器所要求的自转速率的1/3。这样的天体已经十分接近时间机器了，它们代表着先进文明也许能将它们拉长以适合时间旅行这样一种诱人的可能性。

第二种时间机器涉及虫洞——即根据广义相对论方程式可以将时空某部分的黑洞与时空另一部分的黑洞连接起来的时空中的隧道。这一思想十分显而易见，科幻作家随心所欲地运用它已经几十年，但在1980年代中期前，物理学家一直广泛认为这样的东西并不'真正'存在，而且对爱因斯坦方程式的更好理解应该能够证明这点。但是，加州理工学院的基普·桑尼及其同事们对虫洞的详细研究，迫使他们不得不改变调门，而促使桑尼进行此项研究的却是一部科幻小说。

事情是这样的。著名天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）写了一部小说，其中用到了一个旅行装置，使小说中的人物能够从地球附近的一点旅行到织女星附近的一点。虽然他知道违背了物理学定律，但这不过是一部小说而已。然而作为科学家的萨根希望小说中的科学尽可能准确，于是请著名引力理论专家桑尼检查并提意见。1985年底，沉思于如何保持虫洞开放问题的桑尼领悟到，用所谓的奇异物质穿过虫

洞就能做到这点。这里的决定性因素是奇异物质具有反常大的张力，足以克服向内拉的引力而保持虫洞开放。从来没有人找到过任何东西能够完成这一任务——但是，在物理学定律的允许范围内，这种奇异物质却与人们关于宇宙弦的描述几乎完全相符。如果存在类似宇宙弦的任何东西，而且能被捕获的话，就有可能用它来保持虫洞开放（顺便指出，它也将能够使狄普勒描述的时间机器稳定下来）。

萨根愉快地接受了桑尼对他幻想中的‘星之门’的修正，及时让虫洞在他1985年出版的小说《接触》中扮演了角色，但这仍然仅仅是通过空间的一条捷径。不论是萨根还是桑尼开始时都没有意识到，他们描述的东西也将能够用作通过时间的捷径。桑尼似乎对狄普勒的工作一无所知，也没有提及虫洞可能用于时间旅行的任何想法．直到1986年12月，他同他的学生迈克·莫里斯（Mike Morris）到芝加哥参加一次讨论会时，另一位与会者才偶然地给莫里斯指出虫洞也能用于进行时间上的逆向旅行。

要点在于空间和时间在爱因斯坦方程式中被看成完全平等的——这也正是狄普勒时间机器能够工作的原因。所以，一个通过时间捷径的虫洞连接两个不同的时间与连接两个不同的地点一样好。确实，任何天然存在的虫洞将最有可能连接两个不同的时间。

桑尼虽然对这个纯粹科学之谜的推论十分着迷，但他变得（根据他在他的《黑洞与时间翘曲》[19]一书中终于讲出来的故事判断）极度猜疑了，他怕人家若发现他在研究时间旅行的物理问题就会说他疯了，他可能成为人们的笑柄。尽管发表时间旅行论文并未给弗兰克·狄普勒的职业带来负面影响，桑尼（很可能当时还不知道狄普勒的工作，桑尼的书中只有一处脚注提到它）仍然担心，如果他让他的学生发表时间旅行论文，他们的职业生涯还未开始就将完结。与莫里斯及另一位学生乌尔维·尤泽佛（Ulvi Yurtsever）缓慢而秘密工作的桑尼终于使自己相信，爱因斯坦方程式确实允许存在连接不同时间并可用作时间机器的虫洞。直到1988年，莫里斯、桑尼和尤泽佛才将他们的结论发表在《物理学评论》杂志上（61卷，1446页）。桑尼在他的学生们的鼓励下，同意了文章的标题《虫洞、时间机器和弱能条件》；但他仍然对可能出现的不利宣传紧张不安，所以他请加州理工学院公共关系部的工作人员不但要对这篇论文保持沉默，而且要主动制止对该项研究的任何提及。

这当然是不可能的。随着消息的传开，其影响却正好与桑尼担心

的相反。他自己的职业生涯因时间旅行研究而得到了显著加强，他的学生们的职业生涯也有了一个引人注目的开始。看到桑尼的时间机器研究得到赞许，其他对把爱因斯坦方程式推向极致的奇异结论深感兴趣的物理学家们（包括伊戈尔·诺维科夫）也受到鼓舞而将自己的思想公开亮相，加州理工学院的工作也在 1980 年代末和 1990 年代发展成为一项经常性的时间旅行研究事业。所有这些工作的深层原因是，与狄普勒的时间机器遇到的情形一样，很难想像文明生灵如何白手起家制造一个虫洞时间机器，但设想一个天然存在的虫洞如何满足足够先进的文明生灵的时间旅行要求则容易得多。由此产生了各种各样有趣的佯谬和可能性，下面列出的书对此均有所讨论。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；基普·桑尼著《黑洞与时间弯曲》[19]。

Titan 土卫六，1655 年克里斯蒂昂·惠更斯发现的土星的最大卫星。土卫六的直径为 5,150 公里，是太阳系第二大的天然卫星（位居木卫三之后），它与土星的平均距离是 1,222,000 公里，每 15.95 天绕土星公转一周。土卫六的密度几乎是水的两倍，说明在厚而冷的氮大气下面有一个岩质核心，很像一个冻结的小型地球。有些人推测土卫六在太阳变成红巨星时（或更早；见亚瑟·C. 克拉克著《2010：奥德赛①第二》[50]）可能融化而出现生命。

Titania 天王卫三，1787 年威廉·赫歇尔发现的天王星的最大卫星。它是一个直径 1,524 公里布满环形山的冰封天体，在 435,840 公里的距离处每 8.71 天绕天王星公转一周。

Titius, Johann Daniel 提丢斯，约翰·丹尼尔（1729 – 96），德国数学家，他最先（1772 年）提出一个数学关系来描述行星的轨道间距，这个关系现在多称为波得定则。

Titius-Bode Law 提丢斯 – 波得定则，见波得定则。

top down theory 由大而小理论，见星系形成和演化。

Townes, Charles Hard 汤斯，查尔斯·哈德（1915 – ），美国物理学家，1915 年 7 月 28 日生于南卡罗来纳州的格林维尔。他在 1950 年代提出微波激射（即脉泽）理论，并因此项工作于 1964 年获诺贝尔奖。他促进了微波天文学和红外天文学的发展，领导加利福尼亚大学伯克利分校的一个科研小组在 1968 年发现了第一批星际空间的多原子分子——水和氨。他在 1986 年退休。

① 《奥德赛》是古希腊诗人荷马所著史诗。——译注

transverse velocity **横向速度**，天体（例如恒星）横过（即垂直于）视线运动的速率。横向速度需要通过长期孜孜不倦的观测才能定出，但它不能给出有关天体视向速度的任何信息。如果视向速度和横向速度均已知，则可由两者的结合算出天体空间运动的真速度。见自行。

trigonometrical parallax **三角视差**，见视差。

triple alpha process **三α过程**，三个氦原子核（也叫做α粒子）结合成为一个碳核的核合成过程。这是恒星内部制造重元素的紧要一步，因为两个α粒子结合而成的铍-8核很不稳定，在10^{-19}秒钟内就会分裂。形成碳-12（因而也是形成比碳-12更重的元素）的惟一途径是在铍-8存在的极短一瞬间有第三个α粒子到场并与铍-8结合。这种三α过程是埃德温·萨尔皮特在1950年代初提出来的，但开始时觉得第三个α粒子与短命铍-8核的碰撞会促使后者分裂，而不会形成稳定的碳-12核。

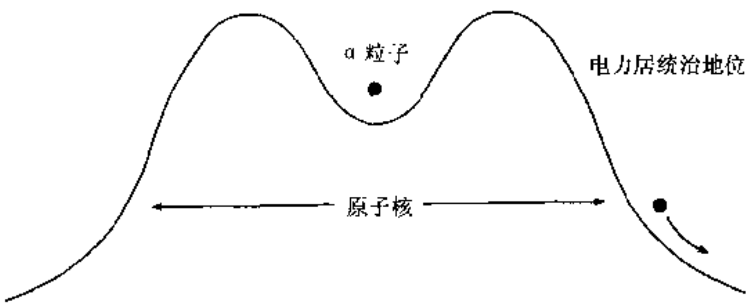
这个难题由弗雷德·霍伊尔预言存在所谓碳-12的'共振'而得到解决，这种共振使新来的第三个α粒子的能量被吸收；共振果然在加利福尼亚的凯洛格辐射实验室的实验中被发现，而且与霍伊尔的预言准确符合。三α过程发生在已经离开主序且内部温度升到大约开氏1亿度的恒星中；它是红巨星的占统治地位的能源。

Triton **海王卫一**，1846年发现的海王星的最大卫星。海王卫一的公转方向与海王星的自转方向相反（即在逆行轨道上），且沿螺线盘旋下降，以致大约1亿年后它将进入海王星的洛希瓣以内而破碎。它的表面有环形山而且破碎不堪，似乎是一堆冰块和岩石混杂在一起。海王卫一的直径为2,700公里，在354,800公里的距离上每5.88天绕海王星公转一周。

Trojan groups **特洛伊群小行星**，沿着与木星一样的轨道绕太阳运动、聚集在木星之前60°和之后60°的拉格朗日点周围的两族小行星。已知的达数百颗，但只有很少数已经正式命名，其中多半集中在木星前方的拉格朗日点，它们的名字取自希腊传说的特洛伊战争中的勇士。

T Tauri stars **金牛座T型星**，仍在收缩并向主序移动的极年轻恒星。它们常常组成群，总是在气体尘埃云之中，有很强的恒星风，表面温度为开氏3,500～7,000度。

Tully-Fisher method **塔利-费希尔方法**，测定遥远盘状星系距离的一个近似方法。盘状星系的绝对星等与其自转速率有关（大概是因为较大质量的星系含有较多的恒星，因而能自转较快且不致破裂），这是根据氢的21厘米波长特征发射研究



隧道效应。被强力束缚在原子核中的一个α粒子犹如身陷高山峰之间低谷中的一个球。如果带正电荷的'球'在山谷外，电力就会把它推离原子核。量子不确定性允许一些α粒子逃走，就好像它们虽然永远没有爬出山谷的能耐，却能够挖一条穿透'山体'的隧道。

揭示出来的。因此，测出星系射电波谱中这根氢线的宽度，就能得出星系的绝对星等，再测出星系的视星等就能求出距离。这个关系是布伦特·塔利（Brent Tully）和理查德·费希尔（Richard Fisher）于1977年发现的，并用主要基于造父变星观测得到的近邻盘状星系的已知距离进行了校准。塔利－费希尔方法给出的哈勃常数值较高，大约等于80公里每秒每百万秒差距。

Tunguska Event 通古斯事件，1908年6月30日早晨7点17分发生在西伯利亚中部的一次爆炸，现在已认定是一个彗星的冰质碎块在地球大气中的剧烈爆炸。1927年派往该地区的一支探险队发现一个半径40公里地区内的西伯利亚森林被毁。被毁地域中央宽30公里的内区中，树木仍然直立，但树枝被剥离；往外，则树木朝着从爆炸点向外的方向倒地。爆炸释放的能量约5,000万吨级，相当于在大约8.5公里上空爆炸一枚大型氢弹；500公里外的目击者曾看到天空一片明亮的光辉。另见世界末日小行星。

tunnel effect 隧道效应，量子理论的测不准原理允许粒子穿透势垒（如原子核周围的势垒）的一种结果。例如，当两个质子在恒星内部彼此接近时，它们被自己携带的正电荷所排斥，从而制止它们接触。但它们能够接近到如此程度，以致其量子波函数重叠，使得它们可以相互作用（见质子－质子反应），就好像其中一个质子'通过隧道'越过

它们之间的势垒。类似地，隧道效应也能解释α粒子何以能够在强核相互作用限制下经由α衰变而逃离原子核。对α衰变的这一解释是乔治·伽莫夫在1920年代首先提出的。

turn-off point **折向点**，见球状星团。

Tycho **第谷**，见布拉赫，第谷。

Type I **I型**，见超新星。

Type II **II型**，见超新星。

U

UBV system UBV 系统，见颜色。

Uhuru **乌呼鲁**［卫星］，1970 年美国宇航局从肯尼亚海岸线外一座平台上发射的第一颗X 射线天文观测用的卫星，其名称'乌呼鲁'是斯瓦希里语的'自由'。乌呼鲁测绘了第一幅X 射线天空详图，发现了诸如半人马座 X-3 和武仙座 X-1 等X 射线双星，以及与星系团相关联的延伸 X 射线发射。

UK Infrared Telescope (UKIRT) **联合王国红外望远镜（UKIRT）**，安装在夏威夷莫纳克亚（海拔 4,200 米）、由爱丁堡皇家天文台管理的一具用于红外天文研究的 3.8 米望远镜，1979 年开始投入观测。

UK Schmidt Telescope **联合王国施密特望远镜**，安装在英澳天文台的 1.2 米（48 英寸）施密特照相机，1973 年开始投入观测，起初由爱丁堡皇家天文台、现由英澳望远镜管理委员会管理。

ultraviolet astronomy **紫外天文[学]**，利用可见光谱区短波端以外波长范围 90~320 纳米的电磁辐射研究宇宙的学科。紫外辐射（有时叫做紫外光）基本上被地球大气（特别是臭氧层或同温层）吸收，但仍有少量抵达地面，可晒黑皮肤，引起某些皮肤癌和眼球白内障。有些紫外观测使用气球，但紫外观测获得的有关宇宙的大部分信息来自火箭和人造卫星运载的仪器。

紫外观测十分重要，因为在这个波长范围有大量原子或分子的谱线（见波谱学）。紫外观测可用波长的下限是由空间存在大量氢决定的，这些氢吸收波长短于 91.2 纳米的几乎全部紫外辐射。几乎所有天体都能通过紫外波段的观测获得有关它们性质的更多信息，但从宇宙学观点看，紫外天文学最有用的方面是研究类星体和星际物质云中赖曼系的红移谱线（见赖曼 α 森林）。

ultreviolet radiation (UV) **紫外辐射（UV）**，波长比可见光短但比 X 射线长，即在 10~320 纳米范围内的电磁辐射。UV 被大气吸收，所以 UV 天文学要求使用气球、火箭和人造卫星。

ultraviolet stars **紫外星**，表面温度高于开氏 10,000 度的热星，它们在电磁波谱的紫外区辐射最强。

Ulysses **尤利西斯**［探测器］，1990 年美国宇航局为欧洲空间局（从航天飞机上）发射的一枚研究太阳的空间探测器，该探测器飞出黄道面

以观测从地球上看不到的太阳两个极区。1994年尤利西斯有了惊人发现——太阳南半球不存在位置确切的磁极。

Umbriel 天王卫二，1851年发现的天王星的卫星。天王卫二的直径为1,174公里，表面比较黯黑，它在265,970公里的平均距离上每4.14天绕天王星公转一周。

uncertainty principle 测不准原理，量子理论的一条基本原理，说的是任何物体的一些成对的性质，比如位置和动量（动量是物体的质量和速度的联合），不可能两者同时精密测定。这个原理是魏纳·海森伯在1920年代首先表述的，所以常称之为海森伯测不准原理。

量子不确定性的关键特点是它与我们所用仪器进行精密测量的能耐（或无能）毫无关系；它是量子世界的固有性质。这就是一个诸如α粒子的实体在核聚变反应中能够'偷偷越过'电斥力而与核结合的原因。按照粒子和力的经典图像，电势垒将α粒子拒之于强核力作用范围以外。但不确定性意味着α粒子实际上扩展到一个小小的空间体积，而不是集中于一点。α粒子'云'向外扩展的模糊边界可以超越电势垒而深入原子核内部，使得强核力能够抓牢它并把它拉进核内，就像α粒子经由隧道通过势垒一样。

测不准原理也适用于能量和时间，它也是粒子对（如一个电子和一个正电子）能够短暂地从完全空无一物之中产生的原因。宇宙本身在足够短的时间尺度上也不能确定到底拥有多少能量，这就为按照爱因斯坦著名公式 $E = mc^2$ 用能量制造短寿命粒子留下了余地。另见免费午餐宇宙。

测不准原理对大物体的影响不明显，因为不确定性的量由数值等于 6.6×10^{-34} 焦耳·秒的普朗克常数决定；它对质量仅 9×10^{-28} 克的电子之类的粒子才效果显著。对于任何物体，位置不确定性的量反比于质量，所以对于任何比一个原子大得多的东西，其位置不确定性确实很小，尽管原理上它仍然存在。

unified theories 统一理论，见大统一理论。

Universal Time（UT） 世界时（UT），对日常目的来说基本上与格林尼治平时相同。UT实际上是从恒星时计算出来的，也是民用守时的基础。协调世界时（UTC）是用于广播时间信号的时间，它通过在广播时间信号中偶尔引入'闰秒'来保持与国际原子时同步。

universe 宇宙，用小写字母'u'开头的英文'universe'的中译名为'宇宙'，指的是某特定宇宙模型，而不一定是现实的宇宙。

Universe 宇宙，用大写字母'U'开

头的英文‘Universe’的中译名亦为‘宇宙’，乃指我们现在和将来可能知道的一切事物，即我们仪器所及的全部空间和时间。看来这可能是一个很全面的定义，然而过去传统上把宇宙看成一切存在事物整体的同义词。但是，新近提出的诸如暴涨等等思想，表明在可观测宇宙边界外面可能有另外的东西——原则上观测不到的空间和时间区，其不可观测性不仅仅因为它们的光尚未来得及抵达我们这里，也不仅仅因为我们的望远镜的灵敏度还不足以探测它们的光。

这就在使用‘宇宙’一词时造成意义含糊。一些人将宇宙局限于可观测的宇宙，另一些人争辩说它应该指全部空间和时间。本书中，我们用‘宇宙’称呼我们自己身处其中的膨胀时空泡，即倘若足够长久地等待光的到来便能原则上用我们的望远镜看见的一切事物。我们建议用‘大宇宙’代表可能包含无数其他膨胀时空泡（如果暴涨理论正确的话）——即我们永远无法与之联系的其他宇宙——的全部空间和时间。

Uranus **天王星**．从太阳向外的第七颗行星，也是（威廉·赫歇尔在1781年）用望远镜发现的第一颗行星。天王星的赤道直径为51,200公里，每84年绕太阳公转一周，与太阳的距离变化于18.3和20.1天文单位之间。它的自转周期是17.24小时，质量是地球的14.5倍（只有木星质量的5%），所以它的密度等于水的1.3倍。与太阳系所有其他行星不同的是，天王星几乎是侧身躺在它的轨道上，在沿轨道运动的过程中，用它的两个极点交替地指向太阳。这个特点可能是很久以前一个大彗星与天王星碰撞造成的后果。天王星至少有11颗天然卫星。

Ussher, Archbishop James **厄谢尔，詹姆斯大主教**（1581－1656），阿尔马大主教，他将圣经家谱体系暗示的日期累加起来一直追溯到亚当，得出地球是在公元前4004年10月26日上午10点钟准时创造出来的结论。

V

valley of stability 稳定性谷，见裂变和聚变。

variable star 变星，亮度、颜色或其他性质随时间而变的任何恒星。变星几乎总是有亮度变化，即使其他性质变化也如此。变星除包括规则变化的脉动变星如造父变星外，还有激变变星（超新星也在内），甚至食双星。食双星的变化是一颗星的光被另一颗星遮挡而引起，并非光度真的在变。有些变星的亮度变化是因为它们自转且表面亮度不均匀。1786 年时的已知变星仅仅 12 颗，而今天各类天体表列出的变星已达数万颗，但其中只有少数被详细研究过。业余天文爱好者通过监测已知变星并把他们测得的变化情况提交给职业天文学家，从而做出了重要贡献。另见再发新星。

Vaucouleurs, Gerard de 伏古勒，吉拉德·德，见德伏古勒，吉拉德·亨利。

vector field 矢量场，具有真正方向性的场（见场方程式）。电场是矢量场的典型例子——一个位于电场中的细小带电粒子（如电子）将沿确定方向运动（如果是电子，则将朝向正电荷而远离负电荷），其加速度取决于场的强度。即使在完全均匀的电场中，细小带电粒子也将沿一根力线运动。另见标量场。

Vega 织女［星］，天琴座中最亮的恒星，又名天琴座 α。织女是全天空第五颗最亮的恒星，光谱型为 A，星等 0.03。它在 14,000 年前曾经是北极星，与太阳的距离是 8.3 秒差距。

Vega spaceprobes 维佳空间探测器，1984 年苏联发射的两枚空间探测器，任务是飞过金星（将两个试探器扔到金星大气中）后，继续飞行以与哈雷彗星会合。探测器名称取自 Venera + Galley（俄文的金星 + 哈雷）。

Vela pulsar 船帆座脉冲星，与船帆星座中一个年龄 10,000 岁的超新星遗迹相关联的脉冲星，根据它的坐标又称为 PSR 0833 – 45。它的周期是 89 毫秒，是 1968 年发现的首批脉冲星之一。船帆座脉冲星有自转突变，是 1977 年证认出的第二颗光学脉冲星，它离我们大约 500 秒差距。

velocity 速度，物体的运动速率和运动方向两者的量度。严格说，速度不能仅仅用速率（如多少多少公里每小时）来规定，还必须说明方向（如朝北北东方向 50 公里每小时）。



金星。1974 年 2 月 6 日水手 10 号在距离 720,000 公里处用紫外光拍摄的布满云层的金星大气照片。

和我们大多数人一样，天文学家用这个词时常常十分粗心，有时将‘速率’和‘速度’混为一谈。但两者的区别是很重要的——例如，光在空间的速率是一个绝对常数，而光在空间的速度则不是，因为光可以朝不同方向以相同速率传播。

Venus　金星，从太阳向外的第二颗行星。在大小上，金星和地球几乎可以说是双胞胎，它的质量为地球的 82%。它绕太阳公转一周需时 225 天，与太阳的平均距离略大于 0.72 天文单位，轨道近于圆形。金星每 243 天相对于恒星逆向自转一次，所以在某种意义上金星上的‘一日’比‘一年’还长。但是，由于金星在轨道上运动，如果你能从它的表面上看太阳，那么从正午到正午的时间长度将是我们地球上的 116.8 天，所以每个金星年差不多有两个金星日。

金星的赤道直径是 12,104 公里。与地球不同的是，金星的大气极为浓密且富含二氧化碳，这造成了强烈的温室效应，再加上它比我们离太阳更近，所以它的表面温度

高达开氏 730 度。金星表面的大气压力是地球海平面大气压力的 90 倍。

金星完全被云层覆盖，因而有很高的反照率，能反射 79% 的入射日光。结果，当金星在天空上靠近太阳成为昏星或晨星时（取决于金星和地球在轨道上的位置），它成为太阳和月亮之外的全天空最明亮的天体。金星没有天然卫星。

very early universe　极早期宇宙，见暴涨。

Very Large Array（VLA）　甚大［天线］阵（VLA），坐落在新墨西哥州索科罗、由美国国家射电天文台管理的一个基于综合孔径原理的大型射电望远镜，它使用了 27 具孔径均为 25 米的抛物面天线，排列在 Y 形轨道上，其中两个臂长 21 公里，第三臂长 18.9 公里。在 1.3 厘米波长的最高分辨率为 0.05 角秒，在 6 厘米波长的分辨率为 1 角秒。

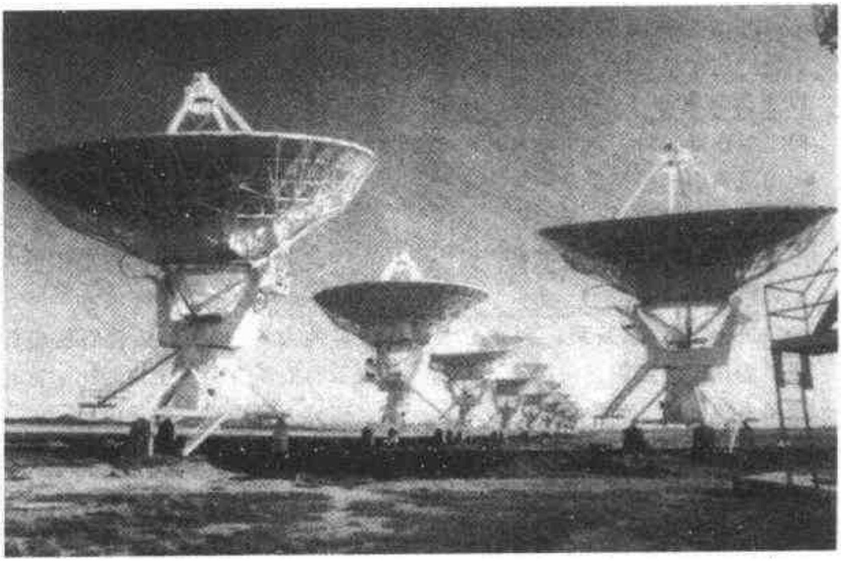
Very Large Telescope（VLT）　甚大望远镜（VLT），欧洲南方天文台正在智利海拔 2,600 米的帕拉纳山上建造的一组共四个相互联结的 8 米光学望远镜，它的威力与单个孔径 16 米的望远镜相当。

Very Long Baseline Array（VLBA）　甚长基线［天线］阵（VLBA），分布在从加拿大东北圣克罗伊到太平洋中夏威夷的一组共 10 个全同的射电望远镜（每个孔径 25 米），它们组合成一个基线长 8,000 公里、分辨率 0.0002 角秒的干涉仪。该系统由美国新墨西哥州索科罗的甚大天线阵总部进行操作。

very long baseline interferometry（VLBI）　甚长基线干涉测量（VLBI），将相距数千公里的若干个射电望远镜组合成一个干涉仪的方法。见甚长基线天线阵。

V404 Cygni　天鹅座 V404，'体重'测量得最准确的黑洞。对天鹅座 V404 的兴趣，是 1989 年日本用于 X 射线天文的银河号卫星发现当时命名为 GS2023 + 338 的天体的 X 射线爆发而激发起来的。天文学家很快意识到，那些 X 射线实际上来自紧靠该天体的一颗 1938 年曾经爆发为新星的恒星。对光学观测记录进行检查后发现，那颗老新星在探测到 X 射线的同时也显著增亮了，证明它们都来自同一个源。X 射线爆发太强，无法用再发新星中的白矮星来解释，所以 X 射线一定来自中子星或黑洞。

由于天鹅座 V404 离我们较近(估计其距离为 1.5 到 4 千秒差距),比研究其他黑洞候选者容易得多。在以后几年中,对天鹅座 V404 进行了详细研究,而到 1994 年底,天文学家使用威廉·赫歇尔望远镜和联合王国红外望远镜积累了足够多的资料,可以准确判断该双星系



甚大天线阵。位于新墨西哥州索科罗附近。这张从阵列中心拍摄的照片显示了该系统的一个臂。

统中两颗星的性质 可见的那颗恒星以 210 公里每秒的速率每 6.5 天绕不可见伴星运行一周。详细的轨道计算表明,不可见伴星的质量是可见星的 17 倍。当观测者成功地测出可见恒星轨道相对于天空的倾角后,最后一点疑难也得到克服,结果表明两颗星的真正质量是 0.7 太阳质量和 12 太阳质量。较轻的是那颗可见恒星,这说明不可见伴星的质量是太阳质量的 12 倍,大约等于中子星最大可能质量——奥本海默-弗尔科夫极限——的 4 倍。它必然是一个黑洞,而且是离我们太阳系最近的黑洞。

Viking spaceprobes 海盗空间探测器,美国宇航局 1975 年发射的两枚不载人火星探测器,每个探测器由一个轨道舱和一个着陆舱组成,发回了大量有关火星及其卫星的资料。

Virgo A 室女座 A,室女星座中最强的射电源,其射电噪声来自星系 M87——室女座星系团核心部位一个离我们 17 百万秒差距的巨型椭圆星系,并与一条长 4,000 光年的喷流相连。这种活动大概是 M87 中一个超大质量黑洞所引起。该射

电源又称为 3C 274。

Virgo cluster 室女座星系团，离我们最近的富星系团，其距离大约是 17 百万秒差距，位于室女星座方向（但远得多!），其中心和我们之间的距离的准确测定是建立宇宙距离尺度的关键一步。室女座星系团中已辨认出约 2,500 个星系，其中 3/4是盘状星系。

visual binary 目视双星，两颗成员恒星能用肉眼或望远镜区分开来的双星系统。

visual magnitude（V） 目视星等（V），对波长 560 纳米最敏感的人眼所见天体的视亮度。现在 V 星等已改用电子探测器（或照相底片）在上述波长进行测量。

voids 空穴，宇宙中不含很多明亮可见星系的区域。宇宙的大尺度结构看来是由星系团组成的膜和纤维散布在巨大空穴四周，就像一堆粘在一起的泡沫。最早发现的这种空穴在牧夫座方向，是 1981 年找到的，它大约有 100 百万秒差距宽。空穴占宇宙体积的 98%左右，集中在'泡沫'外皮上的明亮物质占其余的 2%。但这并不一定表示空穴中空无一物。主张存在暗物质的宇宙模型认为，宇宙的大部分质量可能是在空穴内的暗物质之中，而可见的明亮星系只形成于重子密度最高的区域。这一总图像在 1994 年得到证实，但略有修正，当时天文学家在牧夫座空穴本身内部发现了 50个极暗弱的星系，这仅仅是宇宙中与空穴大小相仿的典型体积内（即宇宙的典型明亮区域内）星系数量的大约1/3，而且它们的暗弱表示它们所含的重子物质比宇宙其余部分的普通星系中更少。

Voyager spaceprobes 旅行者空间探测器，美国宇航局 1977 年发射的两个用于获取太阳系的外行星照片和其他资料的空间探测器。每个探测器重 825 千克，在与一颗行星相遇后，可利用后者的引力继续为它前往会合另一颗行星的旅程加速。

旅行者 1 号于 1979 年考查了木星及其卫星，1980 年会合土星，然后飞出了太阳系。旅行者 2 号 1979 年考查了木星系统，1981 年考查了土星及其光环，1986 年会合天王星，1989 年会合海王星，然后也飞出了太阳系。两个探测器发回的信息根本革新了天文学家关于外行星及其卫星的知识。

W

wave function 波函数，利用波对一个诸如电子等量子实体的描述。我们认为是粒子的每样东西都有一个与它缔合的波函数。见量子理论、测不准原理。

wavelength 波长，一列波中从波峰到波峰（或从波谷到波谷）的距离。（见436页的图。）

wave mechanics 波动力学，量子力学的旧名称；见量子理论。

weak force 弱力 = 弱核相互作用。

weak nuclear interaction 弱核相互作用，见基本力。

weight 重量，见质量。

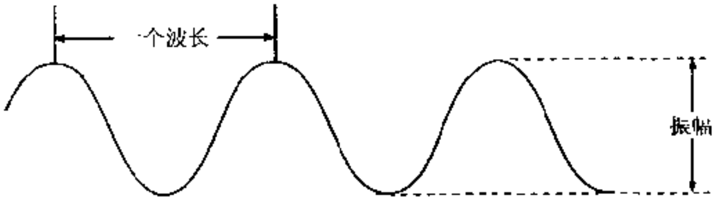
weightlessness 失重，见自由下落。

Westerbork Radio Observatory 韦斯特博克射电天文台，荷兰格罗宁根附近的一座荷兰天文台，它于1970年投入使用，其综合孔径望远镜由14个孔径各25米的天线排列成2.8公里长的直线阵组成。

Wheeler, John Archibald 惠勒，约翰·阿希巴德（1911－），美国理论物理学家，曾经是理查德·费恩曼（1918－88）的博士学位导师，一度信仰平行宇宙概念（量子理论的'多世界'版本），对黑洞研究有所贡献，并且认为宇宙只是因为我们在观察它才存在。

1911年7月9日惠勒出生于佛罗里达州的杰克逊维尔，在约翰·霍普金斯大学求学，1933年获博士学位，随即到哥本哈根与发展量子理论的许多先驱们一起工作两年。回到美国后，在北卡罗来纳大学工作到1938年，后转往普林斯顿大学任教。惠勒研究过核裂变理论，间接为研制原子弹的曼哈顿计划出过力，1949－1950年直接参与利用核聚变的氢弹计划。1947年开始任普林斯顿大学物理学教授，1976年转到得克萨斯大学任相同职务，1986年退休。

1950年代到1980年代，惠勒可能是美国的广义相对论首席专家。他帮助建立的对耗尽全部核燃料的冷恒星的数学描述（'状态方程'），有助于证明质量超过某一确定极限的死亡中的恒星必将坍缩成为黑洞（见奥本海默－弗尔科夫极限）。实际上，有一段时间惠勒反对罗伯特·奥本海默关于黑洞必定存在的见解，但他一旦相信黑洞真的存在，他就成了这一思想的主要支持者；1967年12月，在美国科学促进协会的会议上，惠勒率先在现代天体物理学中使用了'黑洞'一词。



波长。一列波。

惠勒与查尔斯·迈斯纳(1932－)及基普·桑尼一道撰写了权威的教科书《引力》，该书从首版（W.H. 弗里曼出版社，1973年）以来，一直是攻读广义相对论的学生们的标准课本。他首创并大力支持时空结构在普朗克长度上分解为量子泡沫，因而奇点实际上不存在的思想；发生在普朗克长度这一尺度上的量子活动泡沫概念，是描述极早期宇宙性质的暴涨理论多种版本的基础。

惠勒长期苦苦思索量子理论问题，为解释量子世界做出了重要贡献。他的最奇特推测之一是以哥本哈根标准解释为基础，将它应用于整个宇宙。按照哥本哈根解释，量子现象只能作为概率波存在，直到它们被观察时才'坍缩'成为某种确定的状态。惠勒将这一观点在逻辑上加以推广，认为整个宇宙的'波函数'（一直回顾到大爆炸本身）仅当有人观察宇宙并注意到它的存在时，才'坍缩'成为实体（部分为了避开这类不合常情的结论，斯蒂芬·霍金及其他人提出了无时间宇宙概念，即这种宇宙不具有通常意义下的开始；见无边界条件)。如果惠勒是对的，那么宇宙学就是人类一切活动中最重要的，因为我们通过观察宇宙已将宇宙和我们自己都变成了现实的存在。我们并不想破坏这里的玩笑兴致，但应该指出，还有其他的对量子理论的解释！

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；约翰·格里宾著《薛定谔的小猫》[40]。

Whipple, Fred Lawrence　惠普尔，弗雷德·劳伦斯（1906－），美国天文学家，1906年11月5日出生于衣阿华州雷德奥克。惠普尔的科学研究集中在太阳系演化方面，他最著名的工作是提出（1950年）了彗星的'脏雪球'模型。

Whipple Observatory　惠普尔天文台，

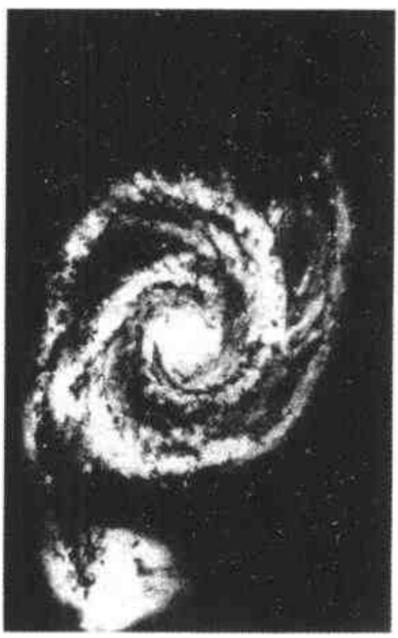
见弗雷德·惠普尔天文台。

Whirlpool galaxy **涡状星系**，具有十分清晰旋臂的盘状星系中特别令人惊叹和漂亮的一个，按其在天体表中的编号，它又叫做 M51 或 NGC 5194。这是罗斯伯爵在 1845 年看到了旋涡结构的第一个星系（那时候叫做星云）。涡状星系在大熊星座尾巴（北斗七星斗柄）末端附近，它在天空中几乎是正面向着我们。它和我们的距离约 6 百万秒差距，体重不到我们银河系的一半。一个叫做 NGC 5195 的小而发育不全的盘状星系似乎与涡状星系的一条旋臂末端相接；其实它是在轨道上绕涡状星系运动（与麦哲伦云绕我们银河系运动相似）。计算机模拟证明，涡状星系显示的这类旋涡结构，可以从一个均匀物质盘与 NGC 5195 这样的伴星系紧密接近时因引力相互作用而产生。

white dwarf **白矮星**，质量与太阳相近、但体积与地球相仿的恒星。一立方厘米白矮星物质的质量将达到一吨左右——是水密度的 100 万倍。白矮星是类似太阳的恒星在生命终结阶段，无法继续通过中心区的核聚变反应来支持星体，发生坍缩而形成的。这样的恒星就像原来那颗恒星留下的余烬，将其最后的能量向太空辐射而冷却；它的物质成分将是氦、碳和核合成产生的其他元素，并将最终冷却成为黑矮星。

第一颗白矮星发现于 1862 年，它围绕最亮的恒星天狼星运动，叫做天狼 B。此后又发现了很多白矮星。白矮星表面的引力极强，是地球表面引力的几万倍，这使得它们的光常常显示可测量的红移。

1931 年，印度天文学家萨布拉曼扬·昌德拉塞卡计算出，任何质量超过太阳质量约 1.4 倍的白矮星将无法支撑自身抗衡引力，因而必然进一步坍缩。后来的研究又表明，虽然质量为太阳 1.4～3 倍的



涡状星系。又名 M51，位于猎犬座方向（但遥远得多）。

死亡恒星可以形成更致密的中子星，但质量超过太阳3倍的死亡恒星则必定无限坍缩成黑洞。

white hole 白洞，黑洞的假想对立物。白洞是物质和能量从奇点浮现出来并注入总体宇宙所经由的一个区域。至今还未曾确切证认出白洞，尽管有些人争辩说宇宙从大爆炸奇点中突然产生应视为白洞行为的一个例子。

在发现类星体之后不久，就有人认为，类星体（以及活动星系和射电源）猛烈向外倾泻能量可能是白洞活动的实例，但这一看法从未受到大多数天文学家的认真对待。所有白洞模型的严重缺点是，白洞奇点周围的区域，和黑洞奇点周围的区域一样，应该具有极其强大的将物质拉向奇点的引力场。计算表明，朝白洞下落的任何东西（物质或能量）将获得如此多的能量，以致在落入强引力场时变得高度蓝移，因而将奇点扼杀在所谓的蓝耀之中，并迅速将它转变成黑洞。

避开这一困难的一种纯粹猜测的可能性是，弱引力条件下（比如在地球上）无法发觉的某些过程在奇点附近的超高密度条件下起作用并产生'反弹'。基于这一猜想的一种相当完善的论述已由弗雷德·霍伊尔在稳恒态假说条件下提出（也有赖于威廉·麦克雷的工作）。霍伊尔认为含有预言存在奇点的方程式的任何理论都是有缺陷的，并指出物质向奇点的坍缩将被制止，然后在极高密度下通过实际上扮演反引力角色的创造场的作用而反转。奇怪的是，虽然黑洞按定义是一切东西落进去的物体，但宇宙中看到的所有类星体及活动星系规模的猛烈活动都表现为物质和能量从致密区爆发式向外抛射，这个事实值得给予更多的注意。

还有一个更含糊的推测认为，白洞可能是黑洞的'另一端'，它们通过虫洞与黑洞相连。见时间旅行。

Wien's Law 维恩定律，黑体的温度与它的辐射波谱中能量最高的波长之间的关系。这条定律以热辐射定律的研究而于1922年获诺贝尔奖的德国物理学家威廉·维恩（Wilhelm Wien，1864－1928）的姓氏命名。

黑体在不同波长辐射的能量，从较短波长的较低能量平滑上升到某个波长处的峰值，然后再平滑地下降到较长波长处的较低能量。在较高温度下，峰的位置移向较短波长，而黑体的温度（开氏）就等于2,900除以辐射峰值处的波长（以微米为单位）；这就是维恩定律。因此，如果黑体辐射曲线的峰，比如说，在4微米（0.004毫米），则黑体的温度就等于725 K。

这是一个很有用的测量物体温

度的方法，因为只需要在波谱峰值附近几个波长处测量发射强度（条件是该物体的辐射近似为黑体辐射）。正是由于背景辐射谱的峰在1,060微米（即比1毫米大一点点），我们才知道背景辐射的温度是2.73 K。

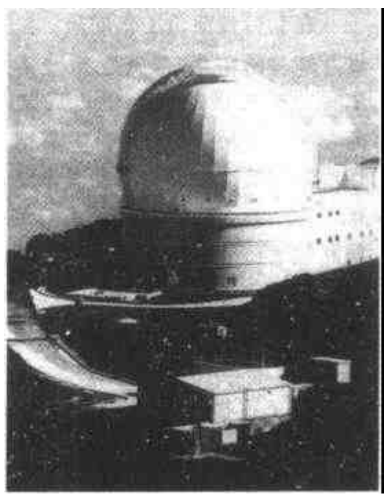
Wilkinson, David T. 威尔金森，大卫·T.（1935～），毕生主要研究背景辐射的美国天体物理学家。威尔金森1935年5月13日出生于密歇根州的希尔斯代尔，就读于密歇根大学，1962年获物理博士学位，留校工作一年后，前往普林斯顿大学，并在那里工作至今，1972年成为物理学教授。1965年初，他是罗伯特·狄克小组成员，正当他进行探测背景辐射的实验时，听到该辐射已被阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊偶然发现。

背景辐射一经发现，威尔金森便深深关注并提出了背景辐射中任何不规则性（各向异性）的测量技术，承担了改良探测器和观测方法的主要责任。在以后的30年中，没有人对背景辐射研究的贡献比他更大，他的许多专门技能在COBE卫星计划中得到了应用；威尔金森是COBE研究班子的创立者。1990年代中期，他在继续参与地面及气球实验的同时，也积极倡议研制一枚新的人造卫星，以求更精密测量背景辐射的各向异性。

William Herschel Telescope 威廉·赫歇尔望远镜，格林尼治皇家天文台的一具4.2米反射望远镜，安装在穆查丘斯罗克天文台。该望远镜于1987年投入使用，观测时间与西班牙和荷兰分享。

Wilson, Robert Woodrow 威尔逊，罗伯特·伍德罗（1936～），与阿尔诺·彭齐亚斯一起偶然发现了背景辐射的美国射电天文学家。

1936年1月10日，威尔逊出生于得克萨斯州的休斯敦，是一位化学工程师的儿子。他在休斯敦的赖斯大学求学时，所有科学课程均为优秀，1957年毕业后，他同时获



威廉·赫歇尔望远镜的圆顶观测室，建在加那利群岛拉帕尔马岛上的穆查丘斯罗克天文台。

得美国两所一流科学学府——加州理工学院和麻省理工学院——研究生院的入学资格，他挑选了加州理工学院。在那里，他听了弗雷德·霍伊尔的课程，受到强烈影响而赞成稳恒态假说。1962 年获博士学位后，他在加州理工学院呆了一年，1963 年转往贝尔实验室设在新泽西州霍姆代尔的研究中心与彭齐亚斯合作。除发现了背景辐射外，威尔逊的主要研究兴趣是用射电天文方法搜寻并证认星际分子、测定星际物质中各种同位素的相对丰度。他一直留在贝尔实验室，1976 年成为无线电物理研究部主任，两年后获诺贝尔奖。

在克劳福德山工作期间，威尔逊开始与阿尔诺·彭齐亚斯分享贝尔实验室提供的一个射电天文职务，他们各用一半时间从事其他工作。他们获准使用为早期通讯卫星设计的一具天线，发现了他们无法解释的宇宙射电噪声源。这一噪声源由附近普林斯顿大学的罗伯特·狄克及其同事们解释为大爆炸的余辉。

补充读物：杰里米·伯恩斯坦著《零上三度》[10]。

WIMPs 温普粒子，见冷暗物质。

Wolf, (Johann) Rudolf 沃尔夫，(约翰·) 鲁道夫 (1816 – 93)，瑞士天文学家，1816 年 7 月 7 日生于费伦登。他在 1850 年研究太阳观测记录，一直追溯到 17 世纪，证明从那时以来存在一种平均周期 11.1 年的太阳活动周。1855 年起，除同时担任苏黎世大学和市立工学院的天文教授外，还任苏黎世当时新建的联邦天文台台长，在该台创立了用‘苏黎世太阳黑子相对数’记录太阳活动的统一方法。这一相对数现在更常称为沃尔夫数。他与马克斯·沃尔夫没有任何关系。

Wolf, Maximilian Franz Joseph 沃尔夫，马克西米连·弗兰茨·约瑟夫 (1863 – 1932)，德国天文学家，常被简称为马克斯·沃尔夫 (1863 年 6 月 21 日生于海德堡)，专门从事照相和光谱观测，对旋涡星云进行了早期观测研究，发现了 232 颗小行星。他与鲁道夫·沃尔夫没有任何关系。

Wolfendale, Arnold Whittaker 沃尔芬代尔，阿诺德·惠泰克 (1927 –)，第 14 任皇家天文官，1991 年接替弗兰西斯·格雷厄姆 – 史密斯上任时已接近该职务的新规定退休年龄，所以只任职到 1994 年底，这是除死于任上的纳撒尼尔·布里斯外‘统治’期最短的皇家天文官。沃尔芬代尔于 1995 年被封为爵士。

沃尔芬代尔生于 1927 年 6 月 25 日，在曼彻斯特大学求学，1948 年毕业，1953 年获博士学位。此前他已经被聘为该校的物理学助理讲师，1956 年赴达累姆大学任教，并

一直留在该校，期间仅一度于1977～78年在香港任客座教授。沃尔芬代尔主要研究宇宙线。

Wolf number（Wolf sunspot number）沃尔夫数（沃尔夫太阳黑子数），用于量度太阳活动水平的一个参数，乃苏黎世天文台的鲁道夫·沃尔夫在1848年提出。沃尔夫数是用日面上可见的太阳黑子数和太阳黑子群数定义的；这个数用 R 代表，等于 $k(f+10g)$，其中 g 是黑子群数，f 是黑子总数，k 是一个与观测仪器有关的十分接近1的数。

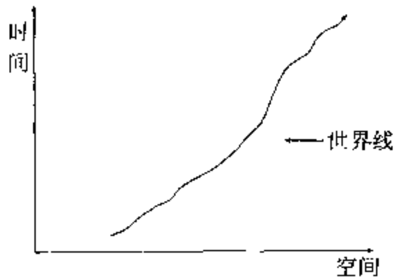
沃尔夫数作为太阳活动的量度并不理想，部分原因是不同观测者将黑子分群的方式不尽相同。今天已经有了更好的方法来量度太阳活动水平，但沃尔夫数也有它的优势，因为黑子和黑子群从伽利略时代以来就一直被监视，这些历史记录可用来估计过去的黑子数，并重建17世纪初以来太阳活动变化规律。例如，用这样的方法已经证明，在17世纪末的地球寒冷时期，太阳正好处在十分宁静的阶段（见蒙德极小期）。

1994年，一项仅仅根据太阳黑子群数对早期记录所做的分析，以格林尼治皇家天文台1874年以后的测量为范本，将过去的观测进行了校准。希腊人在1840年代到1883年获得的另一组观测与格林尼治的记录重合，而重合年份的希腊记录给出的太阳黑子群数总是比格林尼治的少，所以有可能导出一个改正因子。更早期的记录与希腊人的初期观测重合，因而能够用经过校准的希腊观测进行改正，就这样一步一步一直往回推到1600年代初。

这项分析表明，太阳在18世纪的活动比以前根据老记录的分析所显示的要弱得多（但仍然比蒙德极小期的活动强）。这一发现应该有助于更好地认识太阳活动的短期变化。这种改进的太阳活动的量度叫做太阳黑子群数；沃尔夫数本身又叫做太阳黑子相对数或苏黎世太阳黑子相对数，而从1981年以来也叫做国际太阳黑子数，目前由设在布鲁塞尔的太阳黑子标准数据中心进行监测。

Woolley, Sir Richard van der Riet 伍利，理查德·范德里特爵士(1906－86)，英国天文学家。1906年4月24日生于多塞特郡的韦茅斯，1955年继哈罗德·斯潘塞·琼斯成为第11任皇家天文官，此前曾在好几个天文台工作。为在刚刚迁往苏塞克斯郡赫斯特蒙苏的格林尼治皇家天文台发展天体物理工作，伍利起了主要作用。1963年被封为爵士，1971年退休。退休后在南非国家天文台担任了5年台长。

world line 世界线，物体在时空中经



闵可夫斯基图中的世界线表明了一个粒子的生命史。

过的路径。在闵可夫斯基图中，物体的整个生命史可表示为一根蜿蜒的线，即世界线。世界线永远从过去走向未来（在标准闵可夫斯基图中'指向纸面上方'），而通过空间的运动则用线的左右摆动方式来表示。但这根线必须永远保持在其自身的未来光锥内，这对应着空间运动速率低于光速。在弦理论中，基本弦和环扫出世界线的二维对应物，即称为世界膜的时空径迹；于是世界膜的相互作用方式被认为决定了基本粒子的性质。

world model 世界模型，宇宙模型的过时名称。

wormhole 虫洞，通过时空结构的假想通道。虫洞可想像为通过时空的捷径，即连接两个黑洞或（更具猜想性）一个黑洞和一个白洞的宇宙地道。一个虫洞的'另一端'可以在空间的任何地方，也可以是时间的任何一刻，使得经过虫洞的任何物体转瞬之间出现在宇宙的其他部分——不仅仅是另一个地点，也可以是另一个时刻。

广义相对论方程式描述虫洞的解，实际上在理论提出不久后的1916年就找到了，不过那时没有做这样的说明。阿尔伯特·爱因斯坦本人于1930年代在普林斯顿与内森·罗森（Nathan Rosen）的合作研究，发现史瓦西解所代表的黑洞，实际上就是他们称之为两个平坦时空区之间的桥（现在叫做爱因斯坦-罗森桥）的东西。虽然这些方程式被当作数学精品进行了研究（特别是约翰·惠勒及其同事们的工作），但1985年前无人把它们视为宇宙的真实特性，因为数学上研究过的所有例子都只能打开短短一瞬，在任何东西，包括光，尚未来得及通过地道时就（根据方程式）砰地一声重新关闭了。

虽然这一思想为科幻作家所喜爱，但科学家一般认为必定有某条自然定律阻止了虫洞的存在。但是，当加州理工学院的相对论学者们在1980年代试图证明这点时，却发现无法做到。广义相对论（这是我们现有最好的引力和时空理论，它通过了对它进行过的所有检验）中没有任何东西禁止虫洞的存在。不仅如此，基普·桑尼和他的同事们还发现爱因斯坦方程式甚至

有允许存在长寿命虫洞的解。

这样一个虫洞的‘嘴巴’看起来应该像一个球形黑洞的视界，但有一点重要区别。视界是一个单向表面，没有东西能从它里面出来。但一个虫洞嘴巴的表面则允许双向交通。如果我们朝一个另一端在织女星附近的虫洞里面张望，我们将能看见织女星的光从通道里面出来——而织女星附近的观测者从另一端朝这同一个虫洞里面张望时，也将看见太阳的光。

但造一个人类能通过它旅行（见时间旅行）的大虫洞仍然是极端困难的，而从一切实用目的来看也许是不可能的。但物理学家们着迷于也许存在普朗克长度规模天然虫洞的可能性。这种虫洞提供基本的泡沫状时空结构，（以类似诗歌修辞中的混合隐喻手法）由虫洞纤维编结出时空织物本身。

如果是这样，那就会有很多奇特的可能性。例如，这种细小的（超亚微观）虫洞可以连接宇宙中相距遥远的区域，使信息得以泄露，从而保证地球上的物理学定律与遥远类星体上的定律相同。或者一个小虫洞与我们的宇宙断开，并开始通过暴涨长大成为一个独立的宇宙（见婴儿宇宙）。

补充读物：约翰·格里宾著《时间边界探秘》[12]；基普·桑尼著《黑洞和时间翘曲》[19]。

Wright, Thomas　赖特，托马斯（1711–86），达累姆的托马斯·赖特（1711年9月22日出生在该市附近的拜尔斯格林）是英国仪器制造家和哲学家。他（在1750年出版的书《关于宇宙的一种独特理论或者新假说》中）指出，银河系是一块由恒星组成的板，太阳就在这块板中。他意识到太阳不在系统（他把这个系统比作磨坊中的磨盘）的中心，并认为星云在银河系之外。与此类似的思想一直要到1920年代，通过维斯托·斯里弗、米尔顿·哈马逊和埃德温·哈勃的工作，才被完全接受。赖特后来将宇宙描述成一系列由恒星构成的球和环，这影响了伊曼努埃尔·康德关于宇宙本质的观念；赖特还认为土星环并非完整的物体，而是由许多小物体组成。

W Verginis stars　室女座W型星，在星族II恒星中发现的造父变星的别名。见周光关系。

WZ Sagittae　天箭座WZ，已经观测到1913、1946和1978年三次爆发的一颗再发新星（也与矮新星相似）。这是一个周期81.5分钟的食双星，双星中两子星的质量估计是太阳质量的59%和3%（后者很粗略）。少见（但并非绝无仅有）的是，该双星系统的两子星都是白矮星。主星（质量较大者）周围有一个气体环以720公里每秒的速率绕

它运动。光谱研究显示，伴星（质量较小者）溢出了它的洛希瓣，经由气体环流到主星上的物质达每秒钟200亿千克。即使伴星质量只有太阳的3%，它损失的质量也仅占其总质量（约6×10^{28}千克）的极小部分。这一物质流失可以维持数百万年而不致造成显著影响。

X

X-ray astronomy **X射线天文［学］**，利用X射线波段的电磁辐射研究宇宙的学科。由于地球大气吸收X射线，直到1960年代，当天文学家能够用火箭、气球和（终于）人造卫星将X射线探测器送到大气吸收层以上，X射线天文学才算正式起步。X射线天文学展示的宇宙，简直就是一个到处发生高能事件的猛烈场所，特别是它能够辨认出，黑洞正在吞食物质的地方，要么是几倍太阳质量的双星系统，要么是规模巨大的星系和类星体的中心。

所有这些都是1962年偶然发现太阳系外X射线源的天文学家未曾料到的。太阳的X射线是用V2火箭运载的探测器在1940年代末发现的，并用1962年美国宇航局发射的英国羚羊1号卫星上的仪器进行过研究。然而太阳的X射线十分微弱，几光年以外就探测不到（使用1960年代的探测器），所以天文学家曾经设想寻找太阳系外X射线源是毫无希望的。但是，1962年6月18日，里卡多·贾可尼领导的一个研究组发射了一枚携带X射线探测器的火箭，希望用它能够检测到月球表面在太阳粒子撞击下产生的X射线。但那次火箭飞行未能获得预期X射线的任何迹象（月球被‘发现’为X射线是1990年的事，用的是罗萨特卫星上的仪器）。但是，当探测器随着旋转的火箭扫描天空时，却记录到很强的X射线发射（波长0.2～0.8纳米），它来自天蝎座的一个点源，比太阳的X射线强得多。另外，该探测器还检测到来自扫描带内所有方向的微弱X射线‘噪声’背景。

理论家被这个X射线源（被命名为天蝎座X－1）的发现搞得手忙脚乱。这是一个发射能量为太阳X射线能量10^{16}倍的X射线星——它的X射线能量达到太阳在所有波长总辐射能量的令人吃惊的100,000倍！这一能量的来源后来被（剑桥的保罗·费尔德曼和约翰·格里宾）解释为双星系统中的中子星的吸积。到1960年代末，经过几十次火箭飞行，对宇宙累计进行了数小时X射线观测后，发现了差不多50个独立的X射线源，其中包括蟹状星云及其脉冲星、另外几个超新星遗迹、两个特殊星系，以及类星体3C 273。有些X射线探测器还搭乘过主要用于其他目

的的卫星。然后，1970 年 12 月，第一颗 X 射线天文卫星乌呼鲁升空，这是专门用于在 X 射线波段研究宇宙的轨道天文台，从此改变了 X 射线天文学的面貌。

乌呼鲁卫星（贾可尼小组的另一件产品）进行了全天空的 X 射线普查，其灵敏度足以探测 X 射线亮度不小于蟹状星云千分之一的任何源，它发现的独立 X 射线源超过 300 个，对其中很多已证认出可见的光学对应体。通过对这些天体变化的研究，证实 X 射线常常是双星系统中的中子星或白矮星吸积物质时产生的。少数几个源是 X 射线脉冲星。在 1970 年代初经乌呼鲁卫星研究过的双星系统中，有一个叫做天鹅座 X－1，将它的 X 射线和光学数据综合分析后，首次得出其 X 射线能量来源于一个黑洞而非中子星的确切证据。

乌呼鲁卫星获得成功后，又有几个轨道 X 射线天文台升空。其中第一个重大进展是 1978 年美国宇航局发射的爱因斯坦卫星，它具有比早期 X 射线天文台高得多的分辨率和灵敏度。它使用了真正的 X 射线望远镜，其特殊形状镜面能将辐射以掠射角反射而聚焦。它发现了数千个'新' X 射线源，测绘了诸如超新星遗迹和星系团等已知源的详图。爱因斯坦卫星还证明，很多普通恒星辐射的 X 射线比预计的强得多，而所有类星体都发出 X 射线。

星系团中星系之间气体（乌呼鲁卫星最先暗示其存在）的观测对宇宙学具有特别重要的意义。现在已经知道，X 射线揭示的星系之间热气体所含的质量是所有可见星系质量总和的好几倍；X 射线提供了星系团总质量的重要信息，而这种热气体的研究对作为测定宇宙膨胀速率（哈勃常数）最有前途的方法之一的苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应也是十分重要的。另见重子灾难。

自 1970 年代末以来，X 射线天文学与射电天文学和光学天文学一样，详细研究了宇宙中所有类型的天体。新近的 X 射线卫星，如埃克索萨特、银河号和罗萨特等卫星，已经使 X 射线观测差不多成为常规观测。罗萨特编目了 6 万多个独立 X 射线源，并且证明，比如我们熟悉的昴星团中不单单是肉眼可见的七颗恒星（'七姊妹'），而且有大约 500 颗发射大量 X 射线的年轻热星。更高分辨率和更高灵敏度的未来轨道天文台正在规划之中。

X-ray background X 射线背景，布满整个天空的弥漫 X 射线背景。罗萨特卫星的观测表明，这一背景的至少 60% 实际上来自高红移的活动星系。

X-ray binary **X 射线双星**，通过一个致密天体（白矮星、中子星或黑洞）吸积物质并以X射线形式释放能量的双星系统。见半人马座 X-3、天鹅座 X-1。

X-ray burster **X 射线爆发体**，偶尔发生X射线爆发的银河系内天体。已知的 X 射线爆发体不到 100 个，其中大多数在天河中，少数几个在球状星团内，被认为是与再发新星类似的双星系统，但物质落向的子星是中子星而非白矮星。

X-rays **X 射线**，波长比紫外辐射短，但比 γ 射线长，即从 10 亿分之 12 米（12 纳米，或 12×10^{-9}米）到大约 1 万亿分之 12 米（12×10^{-12}米）范围内的电磁辐射。这些对应于高能辐射很短波长的 X 射线通常用单个光子携带的能量来描述，所以上述波长范围相当于能量大致从长波 X 射线的 100 电子伏到短波 X 射线的 100,000 电子伏。X 射线和 γ 射线之间的区分比较随意而未严格规定；有些人称为高能 X 射线的辐射，另一些人则认为是低能 γ 射线。低能 X 射线和高能紫外辐射之间也有类似重叠。低能 X 射线有时称为软 X 射线，高能 X 射线因而相应地称为硬 X 射线。

X 射线是德国物理学家威廉·伦琴在 1895 年发现的（他因这一发现获 1901 年诺贝尔奖），以前常称之为伦琴射线。在地球上，当高能电子流轰击物体表面时，就会产生 X 射线。

在天体上，X 射线可由极高温度（开氏 1 百万～1 亿度）的气体产生，其原理与气体在开氏几千度的温度下发出可见光一样（见黑体辐射）。X 射线也能产生于电子与磁场的相互作用（见同步加速辐射）以及电子与低能光子作用并提升它们的能量。X 射线不能穿透地球大气（它们可以穿过一薄层空气，但无法通过大气的整个厚度），所以来自太空的 X 射线只有用火箭或人造卫星将仪器送到 150 公里高度以上才能进行详细研究；用高空气球的效果较差。

X-ray sources **X 射线源**，发射X射线的天体。天蝎座 X-1 是 1962 年发现的第一个天文 X 射线源。从那以后又发现了数万个，其中大多数是 1991 年以来罗萨特卫星全天空普查发现的。有些 X 射线源，如天蝎座 X-1，是我们银河系内恒星层次的系统，另一些则与更大规模的活动有关，包括类星体和活动星系。甚至还发现有些 X 射线来自某些星系团中充斥于星系际空间的热气体（严格说是热等离子体）。

地球上看到的天空最亮的 X 射线源都在我们银河系内，而且多半与双星系统（例如天蝎座 X-1 本身和天鹅座 X-1）相关联。其

中有一些，包括天鹅座 X－1 和天鹅座 V404，可能（天鹅座 V404 则肯定）含有黑洞。更遥远的源，如室女座 A（作为射电源则更有名），在 X 射线波段实际上比银河系内的源更亮，但因为比较远而看起来较弱，其中许多被认为与特大质量黑洞有关。

XUV astronomy **超紫外天文**[学]，从波谱的极端紫外到较低能（‘软’）X 射线之间的波段（简记为 XUV 波段）研究宇宙的学科。这一波段大致相当于波长 10～100 纳米，或能量 10～100 电子伏。很多 XUV 源是热的白矮星。见罗萨特卫星。

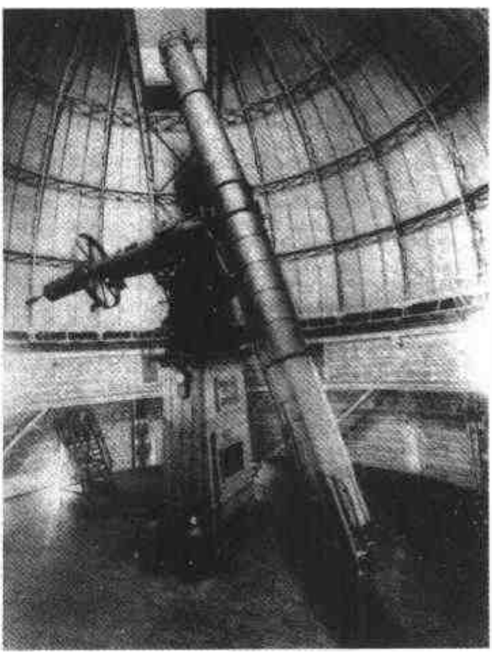
Y

Yagi array 八木天线，由一排平行棒（偶极子）组成的天线。很多家用电视天线就是八木天线；它们也能用于某些射电望远镜。名称源于八木秀津（Hidetsugu Yagi）。

year 年，地球在轨道上绕太阳运行一周所需要的时间。相对于恒星，它等于 365.25636 天（1 恒星年）；相对于太阳，它等于 365.24219 天（1 太阳年或回归年）。

Yerkes Observatory 叶凯士天文台，1897 年乔治·埃勒里·海尔利用百万富翁查尔斯·叶凯士提供的资金，在芝加哥附近建立的天文台，现在由芝加哥大学管理，它的 40 英寸（102 厘米）折射望远镜今天仍然是同类望远镜中世界最大者；其他仪器还有 104 厘米和 61 厘米的反射望远镜各一具。

ylem 原元素，乔治·伽莫夫给大爆炸火球原始物质起的名字。



叶凯士天文台。叶凯士天文台的 40 英寸折射望远镜仍然是此类望远镜中世界最大的。

Z

Z Andromeda stars 仙女座Z型星， 见共生星。

Zel'dovich, Yaakov Borisovitch 泽尔多维奇，雅可夫·鲍里索维奇(1914－87)，苏联天体物理学家，起初研究核物理，1950年代转向宇宙学和粒子物理学，在大爆炸中粒子相互作用类型的理论研究，和应该形成多少氦的计算方面，他都是开创人之一。

泽尔多维奇1914年3月18日生于明斯克，在列宁格勒大学求学，1931年毕业后前往莫斯科的苏联科学院化学物理研究所工作。1930年代，泽尔多维奇研究普通炸药的性质，这项工作一直持续到1940年代。但与此同时，泽尔多维奇还研究了核裂变理论，并在1939年和1940年（与'苏联原子弹之父'尤尔维·卡里顿合作）发表了铀裂变链式反应计算结果。他后来参与了苏联氢弹计划，1943年因发展苏联军备的功绩获得斯大林奖金。但由于他对苏联核计划内情的了解，他在以后的生涯中从未获准走出苏联势力范围。战后，泽尔多维奇仍在苏联科学院系统工作(1946年选为通讯院士，1958年升为正式院士)，但转到了莫斯科空间研究院下属的宇宙研究所。他成了苏联的主要天体物理学家和几代大学生的导师。

泽尔多维奇对宇宙学和天体物理学的贡献良多。他是最先提出类星体和射电星系的动力来自超大质量黑洞的人物之一，他预言双星系统中存在发射X射线的黑洞，他证明（与阿列克谢·斯塔罗宾斯基一道）自转黑洞之所以辐射能量是量子效应的结果（但他开始时不接受甚至非自转黑洞能产生霍金辐射的见解）。

在发现背景辐射前不久的1964年，泽尔多维奇就预言存在这一辐射，鼓励好几位苏联科学家研究这个课题，并在短期内发表了大量论文。但那时苏联与西方科学家之间的交流并不总是如今天这么迅捷，所以尽管有一篇苏联人的文章甚至具体建议用贝尔实验室的天线来搜索背景辐射，而阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊却对此一无所知。1972年，泽尔多维奇还与拉希德·苏尼亚耶夫（Rashid Sunyaev）共同预言了星系团对背景辐射的影响，并提出可以利用它作为早期宇宙的探针。这个苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应在大约20年后被发现，现

在已开始用来测定哈勃常数值。

Zelenchukskaya Astrophysical Observatory 泽林邱克天体物理台，见特设天体物理台。

zero-age main sequence (ZAMS) 零龄主序 (ZAMS)，一群质量不同，但都在同一时刻开始通过核聚变燃烧氢的恒星在赫－罗图上形成的主序。这样的主序就是，比方说，一个刚形成的球状星团应该有的主序。

zero gravity 零引力，见自由下落。

zodiac 黄道带，从黄道向两边扩展各9°左右的一个环绕天空的假想带。这个带包含了太阳、月球和除冥王星外的全部行星在天空中的视运动路径，早在古代就引起了观测者的注意。希腊人把黄道带分成12个相等的段（每一段在天空上的宽度为30°)，并给每个段起了一个与其中最显著星座对应的名称，这些名称就是'黄道十二宫'。

黄道十二宫命名后，分点岁差已使地球上看到的黄道带在天空上位移了。尽管黄道十二宫的旧名称已经和其中实际星座对不上号，但却从未加以改变——例如，太阳现在'通过'的蛇夫座，就不在原来的十二宫的星座内。占星学家乐于沿用旧名称，好像太阳仍然在2月19日和3月20日之间经过双鱼宫(当占星学家认为太阳进入白羊宫时，它实际上刚刚进入双鱼宫)；太阳位于蛇夫座'中'的时候出生的任何人，即使按照占星术的规则算命，可能也不会准确（虽然一本用笔名'理查德·提尔姆斯'发表的有趣的书正式声称占星术将增加第十三宫，但后来发现这是一桩精心策划的骗局)。每一位阅读本书到此条目的读者，肯定不会对占星术纯属胡说这一断语再有任何怀疑——然而很多以前的天文观测却是为占星目的进行的，只是后来才融人到天文科学之中。

Zond 探测号飞行器，1963～1970年间发射的一系列苏联空间探测器的总称。探测1号飞过金星，探测2号飞过火星，都未能发回任何数据。探测3号和5～8号不着陆考查了月球，探测4号失败。最后四个（探测5～8号）绕过月球后返回了地球供修复。

Zurick relative sunspot number 苏黎世太阳黑子相对数，见太阳黑子数。

Zwicky, Fritz 兹威基，弗里茨 (1898－1974)，对天体物理学做出了很多贡献的瑞士天文学家，他研究过超新星、致密星系和星系团，是脉冲星发现前认真对待中子星概念的少数人之一。

虽然兹威基（1898年2月14日）出生在保加利亚的瓦尔纳，他的父母却是瑞士人，他甚至后来到美国生活和工作时也保留了瑞士国籍。他在瑞士上学，1920年本科毕

业，1922年获博士学位（两者都是在苏黎世的联邦技术大学）。1925年离开瑞士去了美国加州理工学院。开始时研究结晶学和原子结构，但被加州理工学院和附近天文台当时取得的令人振奋的天文学新进展所吸引。他在那里成为天文学教授，一直工作到1968年退休，然后回瑞士定居，1974年2月8日去世。除天文工作外，兹威基也曾参与喷气推进、火箭技术和晶体性质（以及其他）的研究。

兹威基性格热情奔放，对自己的创造才能坚信不移，常用一些基本上凭直觉得到的观念不经深思熟虑就去烦他的很多同事。但是，在那些令人心烦的最粗糙的思想中，有一个终于被证明命中了靶心。

兹威基在其天文生涯的早期曾在近邻星系中搜寻过超新星爆发。他开始这一工作时，还不知道那些星系究竟有多远，而且天文学家对是否真正存在超过新星的'超高亮度'恒星爆发仍有疑虑。1930年代，兹威基对超高亮度爆发的兴趣促使他与瓦尔特·巴德合作撰写了一篇有先见之明的论文，文中首次采用了'超新星'一词，并大胆声称超新星确实是与新星范畴不同的现象。主要在兹威基的鼓动下，他们评论道（其中'有保留地'四个字是小心谨慎的巴德加上去的）：

> 我们有保留地提出超新星代表着从普通恒星到主要由中子构成的中子星之间的过渡这一观点。这样的星可以拥有很小的半径和极高的密度……因此，中子星应该代表着这种物质的最稳定的结构。

这篇论文发表在1934年（《国家科学院学报》，20卷，259～63页），正好是发现中子两年以后，当时算得上是想像力的惊人跃进（另见列夫·朗道）。确实太惊人了，经过1930和1940年代对其结论的讨论后，大多数天体物理学家纷纷避开了这一思想，而宁可相信（甚至到了1960年代也如此）即使猛烈如超新星的爆发也不会留下比白矮星更致密的东西。记住，在他们捍卫自己观点的时候，白矮星已于1930年代之前发现，中子星则还要等到1960年代中期才（以脉冲星的形式）辨认出来。兹威基的个性又于事无补，他在1940年代甚至同巴德争吵，激烈程度使巴德真正感到生命受到了威胁，而罗伯特·奥本海默虽然十分了解兹威基的工作，却在自己关于中子星和现在称为黑洞的天体的论文中故意不提它，而是突出地多次引用朗道的工作。作为报复，当兹威基1939年发表他自己全面论述坍缩星的理论时，他也绝不提及奥本海默及其同事的工作。所有这些都是在兹威基和奥本

海默两人同时在加州理工学院工作(也许这正是他们不和的原因?)期间发生的。

在 1930 年代，直接证认中子星看来毫无希望，于是兹威基（在确立了超新星能够短暂地比太阳亮1亿倍——这个数字现在已经因宇宙距离尺度的修正而又提高了100倍——之后）将主要注意力转到其他课题，尽管一有可能便继续研究超新星。

兹威基毕生从事的一个大课题是用帕洛马山天文台的施密特照相机拍摄的照片研究星系团。他证明，大多数星系确实是在星系团中；星系团所含的星系可达数千个。他是最早懂得施密特照相机在这种大规模宇宙普查工作中的重要性的人物之一。

兹威基对星系团内部星系运动(根据个别星系光谱的多普勒效应，并扣除整个星系团的平均宇宙学红移）性质的分析，早在 1930 年代就提供了宇宙中存在大量暗物质的第一个直接证据。这在当时以及其后数十年被广泛认为是兹威基的另一个想入非非的怪念头。它基本上被忽略了，人们希望这个问题将因模型的改进而消失；然而事实上，随着模型和观测的改进，暗物质存在的证据越来越多而终至不容置疑。星系团中‘多余’质量的一部分现在可以解释为星系之间存在热气体（见重子灾难），但大部分不可能取重子形态。

兹威基对星系团的研究以 1970 年代刊布六卷星系团表告终，表中列出了 10,000 个星系团（大部分在北半球天空）。1963 年，兹威基还第一个将致密星系证认为宇宙中一类独立的致密明亮天体，但这个名称今天很少采用。

ZZ Ceti stars 鲸鱼座 ZZ 型变星，脉动变星的一类，它们全是白矮星，以典型代表鲸鱼座 ZZ 命名。它们的表面温度约开氏 12,000 度，脉动周期从短于 1 分钟到长达 30 分钟。

参考书目

以下59本参考书中，前50本是行文中引用过或条目结尾处作为‘补充读物’推荐的，它们的中文名已在译文中给出。后9本亦为作者开列，但行文时未提及，其中文书名附在英文名后面。

1. Brian Hatfield, ed., **Feynman Lectures on Gravitation** (Addison-Wesley, 1995)

2. George, Gamow, **The Creation of the Universe** (Viking, New York, 1952)

3. Fred Hoyle, **Galaxies, Nuclei and Quasars** (Heinemann, London, 1965)

4. John Barrow and Frank Tipler, **The Anthropic Cosmological Principle** (Oxford University Press, Oxford and New York, 1986)

5. John Gribbin and Martin Rees, **The Stuff of the Universe** (Penguin, London, 1995)

6. John Gribbin, **In the Beginning** (Penguin, London, and Little, Brown, New York, 1993)

7. Paul Davies, **The Runaway Universe** (Dent, London, 1978)

8. Philip K.Dick, **Counter-Clock World** (Berkley-Medallion, New York, 1967)

9. Ilya Prigogine and Isabelle Stengers, **Order Out of Chaos** (Heinemann, London, 1984)

10. Jeremy Bernstein, **Three Degrees Above Zero** (Scribner's, New York, 1984)

11. Marcus, Chown, **The Afterglow of Creation** (University Science Books, Mill Valley, CA, 1993)

12. John Gribbin, **In Search of the Edge of Time** (Penguin, London, and Harmony, New York, 1992)

13. George Gamow, **The Birth and Death of the Sun** (Viking, New York, 1940)

14. Jeremy Bernstein, **Hans Bethe** (Dutton, New York, 1980)

15. John Gribbin, **Blinded by the Light** (Bantam, New York, 1992)

16. John Gribbin, **In Search of the Big Bang** (Black Swan, London, and Bantam, New York, 1986)

17. Steven Weinberg, **The First Three Minutes** (Deutsch, London, 1977)

18. Clifford Will, **Was Einstein right**? (Basic Books, New York, 1986)

19. Kip Thorne, **Black Holes and Time Warps** (Norton, New York, and Picador, London, 1994)

20. Fred Hoyle, **Home is Where the Wind Blows** (University Science Books, Mill Valley, CA, 1994)

21. Subrahmanyan Chandrasekhar, **Eddington** (Cambridge University Press, Cambridge, 1983)

22. Michael Rowan-Robinson, **The Cosmological Distance Ladder** (W. H. Freeman, San Francisco, CA, 1985)

23. Lawrence Krauss, **The Fifth Essence** (Basic Books, New York, 1989)

24. J. F. Scott, **The Scientific Work of René Descartes** (Taylor and Francis, London, 1952)

25. Edward Harrison, **Cosmology** (Cambridge University Press, Cambridge, 1981)

26. Ronald, Clark, **Einstein: The life and times** (World Publishing, New York, 1971)

27. Michael White and John Gribbin, **Einstein: A life in science** (Simon and Schuster, London, and Plume, New York, 1993)

28. Frank Close, **The Cosmic Onion** (Heinemann, London, 1983)

29. Fred Hoyle, **The Black Cloud** (Heinemann, London, 1957)

30. Robert Forward, **Dragon's Egg** (Dell Ray, New York, 1983)

31. Robert Weber, **Pioneers of Science: Nobel Prize Winners in Physics** (Adams Hilger, Bristol and Philadelphia, 2nd edn, 1988)

32. George Gamow, **My World Line** (Viking, New York, reprinted 1970)

33. E. A. Tropp, V. Ya. Frenkel and A. D. Chermin, **Alexander A. Friedmann** (Cambridge University Press, 1994)

34. Paul Davies, **The Forces of Nature** (Cambridge University Press, 2nd edn, 1986)

35. Nigel Henbest and Heather Couper, **The Guide to the Galaxy** (Cambridge University Press, Cambridge, 1994)

36. George Gamow, **Mr. Tompkins in Paperback** (Cambridge University Press, Cambridge, 1967)

37. Stephen William Hawking, **A Short History** (privately produced pamphlet)

38. Stephen Hawking, **A Brief History of Time** (Bantam, New York, 1988)

39. Michael White and John Gribbin, **Stephen Hawking: A Life in science** (Penguin, London and Plume, New York, 1992)

40. John Gribbin, **Schrödinger's Kittens and the Search for Reality** (Weidenfeld and Nicolson, London, 1995)

41. Francis Crick, **Life Itself** (Macdonald, London, 1982)

42. Mary and John Gribbin, **Being Human** (Dent, London, 1993)

43. John Imbrie and Katherine Palmer Imbrie, **Ice Ages** (Macmillan, London, 1979)

44. Richard Westfall, **The Life of Isaac Newton** (Cambridge University Press, Cambridge, 1993)

45. Edward Harrison, **Darkness at Night** (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987)

46. John Gribbin, **In Search of Schrödinger's Cat** (Black Swan, London, and Bantam, New York, 1984)

47. Nick Herbert, **Quantum Reality** (Rider, London, 1985)

48. William Kaufmann, **Universe** (W. H. Freeman, New York, 2nd edn, 1988; also available on CD ROM, 1994)

49. Alan Lightman and Roberta Brawer, **Origins** (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1990)

50. Arthur C. Clarke, **2010: Odyssey Two** (Dell Ray, New York, 1984)

51. Timothy Ferris, **The Red Limit** (Quill, New York, revised edn, 1983) 蒂莫西·费里斯著《红色极限》

52. Richard Feynman, **Six Easy Pieces** (Addison-Wesley, Boston, MA, 1983) 理查德·费恩曼著《六件轻松事》

53. George Greenstein, **Frozen Star** (Freundlich, New York, 1984) 乔治·格林斯坦著《冰冻的恒星》

54. John and Mary Gribbin, **Fire on Earth** (Simon and Schuster, London, 1996) 约翰和玛丽·格里宾著《地球之火》

55. Robert Jastrow, **God and the Astronomers** (Norton, London, revised edition, 1994) 罗伯特·贾斯特罗著《上帝和天文学家》

56. Jay Pasachoff, Hyron Spinrad, Patrick Osmer and Edward Cheng, **The Farthest Things in the Universe** (Cambridge University Press, Cambridge, 1994) 杰伊·帕萨丘夫、希隆·斯宾拉德、帕特里克·奥斯梅和爱德华·程著《宇宙中最遥远之物》

57. Joseph Silk, **A Short History of the Universe** (Scientific American Library/W. H. Freeman, New York, 1994) 约瑟夫·希尔克著《宇宙简史》

58. George Smoot and Keay Davidson, **Wrinkles in Time** (Little, Brown, New York and London, 1993) 乔治·斯摩特和凯伊·戴维森著《时间的皱纹》

59. Richard Westfall, **Never at Rest** (Cambridge University Press, Cambridge, 1980) 理查德·韦斯特福尔著《永不静止》

引用图片鸣谢

必要时，补充鸣谢对象放在页码后面的括弧中。

银河图片馆：12、205、277、369。

图像精品/安·罗南图片馆：102、176（美国宇航局）、209、234。

曼塞尔美术馆：103、235、292、358。

玛丽·埃文斯图片馆：121、141、196。

皇家天文学会：6（海尔天文台）、119、126、202（海尔天文台）、255、312、406、449。

科学照片馆：2（美国国家射电天文台/联合大学）、31（鲁道夫·希尔德博士）、34（M·F·马顿）、36（洛斯阿拉莫斯国家实验室）、59（哈佛大学天文台）、66、72（美国国家光学天文台）、98（布鲁克黑文国家实验室）、114（美国国家光学天文台）、132（罗杰·雷斯迈耶、《星光》）、186（格林尼治皇家天文台）、188（罗勃·斯特普尼博士）、203（A·巴林顿·布朗）、208（美国宇航局）、230（詹姆斯·史蒂文森）、260（爱丁堡皇家天文台）、263（美国宇航局）、269（鲁道夫·希尔德博士）、280（美国宇航局）、282（罗杰·雷斯迈耶、《星光》）、323（大卫·哈代）、351（《世界展望》/马登·乌德马）、412（美国国家光学天文台）、439（格林尼治皇家天文台）。

斯塔兰德图片馆：28（美国国家光学天文台）、74（叶凯士天文台/芝加哥大学）、89（美国国家光学天文台）、116（美国宇航局）、139（美国国家光学天文台）、161（美国宇航局）、168（美国国家光学天文台）、220（美国国家光学天文台）、223（美国国家光学天文台）、229（美国国家光学天文台）、267（美国宇航局）、284（美国国家光学天文台）、310（美国国家光学天文台）、322（美国宇航局）、327（欧洲空间局）、362（叶凯士天文台/芝加哥大学）、431（布鲁斯·C·默里博士/国家空间科学数据中心）、433（美国国家射电天文台/联合大学）、437（叶凯士天文台/芝加哥大学）。

魏登菲尔德档案馆：76、157。

大事年表

大事年表1 对认识宇宙有重要贡献的科学家诞生及主要成就	大事年表2 发展物理科学，尤其是认识宇宙过程中的重大科学事件	大事年表3 重大历史事件、着重科学方面重大事件
		约公元前15000－10000：最后一次冰期结束，地球变暖。石窟画。
		约前12000：犬被驯化。
		前10000：世界人口300万。
		约前8000：发明交易证物（古代'货币'）。农业。制陶。
		约前6000：发展水利。织造。
		约前4500：炼铜。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		约前 4000：建立苏美尔的乌尔城。
		约前 3500：发明文字和轮。
		约前 3000：埃及人使用帆船。青铜被普遍采用。建成吉萨金字塔。建成巨石阵首期工程。人口 1 亿。
		约前 2500：宽口陶器人在欧洲扩张。
		约前 2000：巴比伦崛起。巨石阵增添圆圈。小亚细亚制成辐轮。米诺斯文明在克里特成长。
		约前 1800：第一个字母表。巴比伦人使用乘法表。
		前 1700：亚伯拉罕创立犹太教。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		约前 1650：桑托里尼的火山岛（锡拉火山）爆发；亚特兰蒂斯传说的可能出处。越南使用青铜犁。
		约前 1500：中国汉字。
		约前 1350：犹太人出埃及。
		约前 1200：出现铁制品。特洛伊战争。
		前 878：伽太基建城。
		约前 800：奥尔梅克金字塔在墨西哥建成。荷马撰写史诗《伊利亚特》。
		前 776：第一次奥林匹克运动会。
		前 710：埃塞俄比亚人侵者征服埃及。
前 624：泰勒斯（米利都人）。第一位科学家；希腊哲学家，提出世界由水		**约前 600**：希腊科学开始发展。伊

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
构成，地球是一个浮在水上的盘。		家创作他的寓言。中国人发明房屋熏蒸消毒以消灭有害动植物。
前 611：**阿那克西曼德**（米利都人）。提出地球表面是弯曲的首位哲学家。		
		前 605－562：尼布甲尼撒创建巴比伦空中花园。
		前 585：泰勒斯（米利都人）正确预报了一次日食。
前 580：**毕达哥拉斯**。指出大地是球形，行星沿圆周运动——并非根据任何科学思考，只是因为笃信圆是‘完美’的形式。他还以发现有关直角三角形的著名定理而闻名；以他的姓氏命名的这条定理后来在狭义相对论和广义相对论对时空关系的研究中得到巨大应用。		**前 565**：创立道教。
		前 538：波斯人入侵巴比伦。
		前 528：印度创立佛教。
		前 525：波斯人入侵埃及。
		约前 520：阿那克西曼德设想出一种圆柱形地球模型。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
前 500：**安那克萨哥拉**（克拉佐曼纳人）。正确解释日食和月食的首位天文学家。	**前 500**：毕达哥拉斯的信徒们论证大地为球形。	**约前 500**：毕达哥拉斯的信徒们论证大地为球形。钢在印度冶炼成功。
约前 490：**恩培多克勒**。认为一切事物均由火、空气、水和土这四种‘元素’构成的思想的最早期支持者之一。		**前 490**：希腊在马拉松打败波斯。
		前 478：建立雅典帝国。
		前 470：苏格拉底诞生。
	前 430：**德谟克利特**（阿布德拉人）提出一切事物均由原子构成的思想。	
约前 427：**柏拉图**。希腊哲学家，主要根据完美性概念的思考，最早论证大地必为完美球形，而宇宙中所有其他物体均沿完美的圆周绕地球运动。		**前 427**：柏拉图诞生。
		前 400：今伦敦所在地首次有人定居。
前 388：**赫拉克利德斯**（蓬杜斯人）。希腊哲学家和天文学家，他认为地球每 24 小时绕自身的轴旋		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
转一周——这一见解未被普遍接受达1,800年之久。		
前384：**亚里士多德**。兴趣广泛的亚里士多德在宇宙学方面亦有著述；他在前辈思想的基础上，提出宇宙由一系列以地球为中心、并围绕地球运动的同心球组成的模型。		**前384**：亚里士多德诞生。
		前348：柏拉图撰写《国家篇》。
		前340：马其顿的腓力二世统治希腊。
		前336：亚力山大大帝继腓力二世即位。
		前323：亚力山大大帝征服当时欧洲人已知世界的绝大部分后死去。
		前312：建成第一条给罗马输水的渠道。
		前306：欧几里得诞生。

科学家诞生及主要成就

前3世纪早期：阿利斯塔克（萨摩斯人）。认识到地球呈圆形后，试图计算太阳和月球相对距离的第一人。阿利斯塔克领悟到，恒星在天空上的视运动是地球自转引起的。

约前273：厄拉多塞（昔兰尼人）。他第一次比较可靠地计算了球状地球的大小。

重大科学事件

前3世纪：欧几里得收集当时的知识并付诸文字；其中包括了现在称为欧几里得几何的几何学概念，这些概念直到20世纪仍是很多地方数学教学的基本内容。

重大历史事件

前300：建立亚力山大博物馆。

前280：罗得岛巨像完成。

前265：阿基米德发现比重定律（浮在水中的物体排出与自身等重量的水）。

前264：第一次（罗马和伽太基之间的）布匿战争爆发。

约前260：中国开始修建长城。

前240：中国天文学家观察哈雷彗星——哈雷彗星来访的最早记录。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		约前 235：厄拉多塞正确计算了地球的大小。
		前 218：汉尼拔越过阿尔卑斯山。
前 2 世纪：**伊巴谷**（尼西亚人）。测定了一年的长度，精度达 6.5 分钟；首次估计了太阳和月球的真实距离。		**约前 200**：罗马帝国壮大。
	前 165：中国天文学家记录太阳黑子——有精确计时的最早观测。	**前 146**：罗马接管希腊后，消灭伽太基。
		约前 140：中国发明造纸。米洛的维纳斯雕塑完成，雕塑家不明。
		约前 100 年：中国长城建成。借助磁罗盘（天然磁石）航行的中国船队访问印度东岸。
		公元前 54 年：儒略·凯撒入侵不列颠。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	公元前 46 年：儒略·凯撒在罗马帝国颁行《儒略历》。为使新历重新与季节相合，公元前46年含有445天！	**公元前 46 年**：罗马帝国推行《儒略历》。
	公元前 44 年：埃特纳火山大规模爆发。火山灰遮挡阳光，使地球变冷，引起中国农作物歉收。	**公元前 44 年**：儒略·凯撒被刺。
		公元前40－4年：希律一世大帝在位。
		公元前 5 年：基督降生。世界人口2.5亿。
		公元 28 年：耶稣被处以钉在十字架上的死刑。
		公元 66 年：马可福音问世。
	公元 79 年：普林尼(小)公布第一份大火山爆发——毁灭了庞贝的维	**公元 79 年**：庞贝和赫库兰尼姆被维苏威火山爆发毁灭。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	苏威火山爆发的详细书面描述。	
约公元 100 年：托勒密。希腊天文学家，在其 13 卷巨著《天文学大成》中描述了当时认识的宇宙。托勒密用纯正的科学探索方法，在地心宇宙框架内，提出本轮概念来解释观测到的天体运动。托勒密的这一体系支配天文学长达 1,000 多年。		**约公元 100 年**：纸首次用于书写。
		122：罗马人修建哈德良长城。
	132：中国的张衡发明第一台地震仪。它利用地震波从青铜龙口中震落的球来指示地震的方向。	**286**：出于管理考虑，罗马帝国分为东西两半。
		330：君士坦丁堡奠基。
		389：亚力山大图书馆被毁。
		395：罗马帝国彻底分裂成两个独立的帝国。
	400：亚力山大的学者首次使用‘化学’一词。	**410**：西哥特人掠夺罗马。
		432：圣巴特里克出发去改变爱尔兰人的信仰。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		433：阿提拉成为匈奴的领袖。
		455：汪达尔人掠夺罗马。
		476：罗马帝国在意大利的最后残余被日耳曼人侵者消灭。
		约 500：算盘。
		517：佛教传入中国。
		525：推行基督历。
		570：穆罕默德诞生。
		约 600：发明印刷机——中国木刻。波斯制造风车。
		613：穆罕默德开始公开布道。
		616：西哥特人征服西班牙。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		620：穆罕默德逃出麦加（逃亡）；此事件标志伊斯兰教历元的起始。
		632：穆罕默德死后，阿拉伯帝国扩张。
	635：佚名中国学者记录彗星尾巴总是朝着远离太阳的方向这一规律。	
		670：可敬的比德诞生。
		697：阿拉伯人灭亡伽太基。
		699：英雄史诗《贝奥武甫》写成。
		711：阿拉伯人侵犯西班牙。
		731：玛雅帝国最繁盛时期开始。
		732：阿拉伯人在普瓦捷战役中的失败标志伊斯兰教的西扩被遏制。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		748：北京出现第一份印刷报纸。
		768：查理曼登基为法兰克国王。
		约 790：爱尔兰修道士定居冰岛。
		约 800：北欧海盗开始扩张。
	827：托勒密的《天文学大成》译成阿拉伯文，称为《伟大论》。	
	840：阿拉伯人最早的太阳黑子观察记录。	**849**：阿尔弗烈德大王诞生。
	880：阿拉伯化学家从葡萄酒中提取乙醇。	**863**：创制西里尔字母表。
		900：北欧人发现格陵兰。
		924：英格兰阿尔弗烈德大王去世。
		929：好国王瓦茨拉夫被暗杀。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		975：阿拉伯人将现代算术符号引进欧洲。
		982：北欧海盗首次定居格陵兰。
		约 1000：伊斯兰民族科学繁荣。中国用煤做燃料。印度数学家斯利达拉领悟‘零’的重要性。
		1005：开罗建立科学图书馆。
		1036：阿雷佐的圭多采用现代音乐记谱法。
		1050：中国首次采用活字印刷术印书。
	1054：中国天文学家目击产生了蟹状星云的超新星爆发。这次爆发的亮度一度超过金星，白昼可见	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	达 23 天之久。	
	1066：出现大彗星（现在已知是哈雷彗星来访）。	**1066**：诺曼底的威廉在黑斯廷斯战役中打败哈罗德。
		1086：末日审判书。
		1099：耶路撒冷陷入十字军之手。
		约 1100：中国使用磁罗盘。辛奇·罗卡成为印加人的首位国王。
		1150：中国最早使用火箭。创建巴黎大学。
		1155：中国制出最古老的印刷地图。
		1157：狮心王理查诞生。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1167 或 1168：正式建立牛津大学。
		1174：开始建造比萨塔。
		1204：十字军掠夺君士坦丁堡。
		1206－1227：成吉思汗征服欧亚大陆的广大地区。
		1213：剑桥大学初创。
		1215：颁布《大宪章》。
		约 1250：发明鹅毛笔.
		1260：成吉思汗的孙子忽必烈成为中国皇帝。
约 1285：**奥康姆的威廉**。‘奥康姆		**1271**：马可波罗开始他伟大的东方之旅。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
剃刀’原则的提出者。该原则声称，如果对某事物有两种可能解释，其中之一比另一种简单，则应该选择简单的解释。		**1294**：忽必烈驾崩。 **1295**：马可波罗回到意大利。 **约 1300**：奥斯曼帝国建国，它统治地中海和中东大片地区直到 1923 年。 **1305**：乔万尼·皮萨诺完成雕塑《圣母圣婴》。 **1307**：但丁开始创作长篇叙事诗《神曲》。 **约 1310**：欧洲制成最早的机械钟。 **1311**：巴黎圣母院大教堂竣工。 **1314**：班诺克本战役。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1331：中国发生黑死病，并最后蔓延到欧洲。
		1338：英格兰和法兰西之间的‘百年战争’爆发。
	1350年代：让·比里当提出‘冲量’概念，这是现代惯性概念的前身。他驳斥行星和其他‘天体’由天使推动的观点，认为推动天体的惟一原因就是冲量。	
		1356：中国人在战争中首次使用火炮。
		1366：彼特拉克创作《诗集》。
		1386：创办海德堡大学。
		1387：乔叟开始写作长诗《坎特伯雷故事集》。
		1388：乔叟写作诗歌《特洛伊罗斯与克瑞西达》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1398：德里毁于帖木儿之手。 **1409**：多那太罗完成雕塑《大卫》。 **1419**：薄伽丘的《十日谈》出版。 **1426**：马萨乔的绘画《圣母加冕》。 **1431**：圣女贞德被烧死在火刑柱上。 **1440年代**：欧洲人谷登堡研制成功使用活字的印刷机。 **1452**：佛罗伦萨的梅迪契宫落成。英王理查三世诞生，列奥纳多·达·芬奇诞生。 **1453**：君士坦丁堡落入土耳其人之

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		手，成为奥斯曼帝国一部分。
		1454–1455：谷登堡所印《42行圣经》出版。
		1455–1485：玫瑰战争。
1473：**哥白尼，尼古拉**。波兰天文学家（和医生），他提出位于太阳系中心的是太阳而非地球的思想。		**1473**：米开朗基罗创作西斯廷教堂拱顶画。
		1474：卡克斯顿印刷第一部英文书。
约1480：**麦哲伦，费迪南**。详细描述麦哲伦云的第一位欧洲人。		**1478**：波提切利作画《春》。西班牙设立异端裁判所。
		1489：数学中首次使用‘+’号和‘–’号。
	1490：列奥纳多·达·芬奇研究细管中液体的毛细现象。	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1491：亨利八世诞生。
		1492：哥伦布发现中美洲东岸外岛屿。地理学家马丁·贝海姆制成第一个地球仪。
		1498：瓦思科·达·伽马绕过好望角航行到印度。
	16世纪：伦纳德·蒂杰斯研制成第一具反射望远镜，这是一种主要使用曲面反射镜收集光线并放大影像的望远镜。	**1513**：马基雅维里发表《君王论》。
		1516：托马斯·莫尔发表《乌托邦》。
		1517：马丁·路德发起新教运动。
1520（?）：**蒂杰斯**，伦纳德。望远镜的发明者。	**1519**：费迪南·麦哲伦详细描述了麦哲伦云。	**1519**：费迪南·麦哲伦开始环球航行，结果仅剩一条船完成此壮举（而麦哲伦本人中途在菲律宾被杀）。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1532：皮萨罗征服秘鲁。
		1533：伊丽莎白一世诞生。
	1540：德国天文学家彼得·亚皮安记录了欧洲人第一次发现彗尾总是指向与太阳相反的方向这一事实。	**1543**：哥白尼的《天体运行论》一书出版。
1546（?）：**蒂杰斯，托马斯**。推动了望远镜的应用；提出宇宙的大小无限。		
1546：**布拉赫，第谷**。精密测量了恒星的方位和行星的运动，为开普勒发现行星运动定律铺平了道路。		
1548：**布鲁诺，焦尔达诺**。意大利修道士，是哥白尼日心学说的早期支持者，以异端邪说罪在罗马被烧死在火刑柱上。	**16 世纪下半叶**：伦纳德·蒂杰斯可能制造了第一具折射望远镜。	**1550**：西班牙开始种植烟草。
		1551：伦纳德·蒂杰斯发明经纬仪。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		提香为西班牙腓力王子作画。
		1558：伊丽莎白一世登基为英格兰女王。
1564：伽利略（伽利雷，伽利略）。用望远镜对天象进行系统观察的第一人。证明重物体比轻物体下落更快的流行观点不成立。支持哥白尼的太阳系日心模型。		**1564**：莎士比亚诞生。马车从欧洲大陆传人英格兰。
		1568：墨卡托发明以他的名字命名的地图投影法。
1571：开普勒，约翰尼斯。发现行星运动三定律，对牛顿发现万有引力定律有很大帮助。		
	1572：第谷·布拉赫观测到一颗超新星。	
	1576：托马斯·蒂杰斯抛弃托勒密关于恒星镶嵌在围绕地球的单个水晶球上的观点，提出恒星分布在无穷空间之中。	

科学家诞生及主要成就

1581：**厄谢尔**，詹姆斯大主教。这位阿尔马的大丰教根据《圣经》家谱暗示的日期，一直推算到亚当，得出地球是在公元前 4004 年 10 月 26 日上午 10 点整被创造出来的。

1596：**笛卡儿**，勒内。发明坐标几何学方法（笛卡儿几何学）。

重大科学事件

1581：伽利略研究摆的性质。

1582：教皇格雷果里八世颁行格雷果里历。这是目前世界共用的历法，它取代了精度不高的儒略历。格雷果里历首先在天主教国家采用。

1582：约瑟夫·斯卡利杰推出儒略日，它成为对不同历法记录的事件进行协调的标准方法。此法随意规定公元前 4713 年 1 月 1 日为起始日，儒略日就是从那天算起的经历过的天数。

1590 年代和 1600 年代：荷兰天文学家大卫·法布里休斯通过一系列观测，发现第一颗变星刍藁增二。

重大历史事件

1582：教皇格雷果里八世改革历法，结果 1582 年成了记录在案的最短年份。

1586：俄罗斯开始向乌拉尔以东扩张。瓦尔特·雷利在英格兰推广吸烟。

1588：西班牙无敌舰队战败。

1599：首次演出莎士比亚喜剧《无

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		事生非》。
	17 世纪头 10 年：伽利略成为用折射望远镜进行天文观察的第一人。	**1600**：首次演出莎士比亚悲剧《哈姆雷特》。
	1604：开普勒观测到一颗超新星。	
		1605：弗兰西斯·培根在《科学推进论》中鼓励对自然界进行科学研究。炸毁英国国会的火药阴谋失败。塞万提斯写作《堂吉诃德》。
		1609：伽利略用望远镜研究月球和行星。开普勒定律发表。
	1610：约翰尼斯·开普勒最先领悟到，黑暗的夜天空直接与充满明亮恒星的无穷宇宙观念相矛盾。他因此断言宇宙必定是有限的——当我们通过恒星之间的间隙观察时，我们实际上看到的是	**1610**：法国在魁北克建立殖民地。 **1611**：英格兰詹姆斯国王钦定《圣经》出版。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	宇宙的黑暗边界。	
	1613：伽利略可能已经看见了海王星并做了简要记述，但他未能意识到那是一颗行星。	**1615**：罗马圣彼得大教堂建成。
		1618：三十年战争爆发。
		1620：英国清教徒在普利茅斯岩礁登陆。
1625：**卡西尼**，乔万尼·多明尼哥。测定了行星的自转周期（‘日的长度’），计算了木星的卫星运动历表，1675年发现土星环中的一个间隙，至今仍叫做卡西尼环缝。		
1629：**惠更斯**，克里斯蒂昂。发明最早的实用摆钟；设计制造了改进型天文望远镜；提出完整的光的波动说；发现土卫六，并领悟了土星环的本质。	**1631**：皮埃尔·伽桑狄是观察水星过日面（凌日）的第一人。	**1632**：克里斯托弗·雷恩诞生。
		1636：创办哈佛大学。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1637：笛卡儿的《正确构建推理和寻求科学真谛的方法谈》一书出版。
		1638：路易十四诞生。
		1641：伽利略的儿子制成第一具摆钟。
1642：**牛顿**，艾萨克。发现了以他的姓氏命名的引力定律和运动定律；发明了微积分的数学方法；进行了重要的光学研究，包括设计一种新型反射望远镜。	**1643**：托里切利制成第一个气压计。	**1642**：英国内战爆发。
1644：**罗默**，奥利。1675年测定光速，方法是利用木星卫星食的观测，推算光跨越地球轨道经历的时间。		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1646：**弗兰斯提德**，约翰。1675年成为首任皇家天文官。格林尼治皇家天文台就是为弗兰斯提德编制天文历表而建立的。	**1647**：约翰尼斯·赫维留绘制第一张月面图。	**1649**：查理一世被斩首。
1650：**卡塞格伦**。卡塞格伦望远镜所用反射镜面系统的发明者。	**1650**：耶稣会天文学家约安尼斯·里肖利证认出第一个双星，他借助望远镜发现大熊座ζ实际上是双重星。	**1650**：厄谢尔大主教推算出世界创生于公元前4004年。昔兰诺（贝尔热拉克人）提出飞向月球的7种方法。
	1654：托斯卡纳大公斐迪南二世发明温度计。	**1651**：托马斯·霍布斯在《利维坦》中宣称人类是‘孤独、贫穷、肮脏、野蛮的和短命的’。
	1655：克里斯蒂昂·惠更斯发现土星的最大卫星土卫六。	
1656：**哈雷**，埃德蒙。认识到现在以他的名字命名的那颗彗星是在引力作用下，按照牛顿定律绕太	**1656**：惠更斯辨识土星环的真正本质。	**1656**：惠更斯研制成功精密摆钟。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
阳运动的周期彗星。还编制了星表，利用历史记录发现了一些恒星的自行，倡议了一项导致更准确测定地球到太阳的距离的研究计划。	**1659**：惠更斯观察火星表面的斑纹。	**1660**：君主制在英格兰复辟。
		1661：凡尔赛宫始建。
	1663：约翰·格雷果里推出他的反射望远镜设计，后来称之为格雷果里望远镜。	**1663**：皇家学会获得特许状。
	1664：罗伯特·胡克发现木星的大红斑。	**1664**：笛卡儿在《论人》中提出动物和人是没有‘活力’或灵魂的‘机械’器物。
	1665：剑桥大学因瘟疫关闭，艾萨克·牛顿亦回到乌尔索普家中，他在那里做出了很多伟大发现。	**1665**：皇家学会开始出版《哲学学报》。伦勃朗·范赖因作画《朱诺》。瘟疫肆虐英格兰。
	1666：乔万尼·卡西尼观察火星极冠。	**1666**：伦敦大火。成立法兰西皇家科学院。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	1667：建立巴黎天文台。	
	1668：艾萨克·牛顿再次发明最初由伦纳德·蒂杰斯在16世纪发明的反射望远镜，并成为将这一发明付诸实用的第一人。反射望远镜得到完善后，折射望远镜在天文工作中失宠，因为它们的色差在天体像中产生色彩斑斓的畸变。	**1670**：莫里哀创作戏剧《布尔乔亚贵族》。
	1671：首次相当精确地测定火星距离，这是一组法国天文学家在法属圭亚那的卡宴和另一组在巴黎同时记录火星位置而做出的。	
	1672：卡塞格伦公布后来称为卡塞格伦望远镜的设计，但该设计直到18世纪才付诸实用。	
	1672：乔万尼·卡西尼发现土星的	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	第二大的卫星——土卫五。	
	1675：查理二世建立格林尼治皇家天文台。 卡西尼发现土星环的间隙，即现在所称的卡西尼环缝。	
	1676：奥利·罗默测定光的有限速率。	**1676**：建立不列颠博物馆。
		1680：首次制成带分针的钟（以前的钟只能指示小时）。
		1683：土耳其人围攻维也纳。
1685：伯克利，乔治（主教）。论证一切运动都是相对的，因而必须参照某个东西进行测量。		**1685**：约翰·塞巴斯蒂安·巴赫出生。
	1687：牛顿的伟大著作《原理》出版，其中提出描述物体动力学性质的三条基本定律。	**1688**：在英格兰的‘光荣革命’中，天主教的詹姆斯二世被荷兰奥兰治王室信奉新教的威廉和玛

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		丽取代。
		1690：洛克发表他的《人类理解论》。
		1692：塞勒姆巫术审判。
1693：**布拉德雷，詹姆斯**。发现星光的光行差，并用它来测定光速，所得结果相当于308,300公里每秒，与现代数值299,792公里每秒相近。		**1697**：卡纳莱托出生。
		1698：矿井排水用的蒸汽动力泵取得专利。巴黎旺多姆广场竣工。
	1700年代：伊曼努埃尔·康德认为远方星云可能是银河系以外的完整恒星系统。	
1701：**摄尔西乌斯，安德斯**。推出一种用两个固定点为基准的温度标：水的沸点为0度，冰的熔点为100度。他死后不久这一标度被反过来，变成水的沸点为100度，冰的熔点为0度。		**1701**：创办耶鲁大学。
	1700年代：约翰尼斯·开普勒利用第谷·布拉赫积累的资料发现行星运动三定律。这些定律后来称为	**1702**：第一家日报《库朗日报》在伦敦发行。 叶忒罗·塔尔发明播种用的条播机。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	‘开普勒定律’。	
	1704：艾萨克·牛顿发表他的《光学》。	1704：美国第一家报纸《波士顿新闻通讯》发行。
	1705：埃德蒙·哈雷预言现在以他的姓氏命名的那颗彗星将要回归。	1706：本杰明·富兰克林出生。
		1707：英格兰、威尔士和苏格兰联合成为大不列颠。
		1710：伦敦圣保罗大教堂竣工。
1711：赖特，托马斯。在其《关于宇宙的一种独特理论或者新假说》中指出，银河系是一块由恒星组成的板，太阳就在这块板中。赖特后来将宇宙描述成一系列由恒星构成的球和环，这影响了伊曼努埃尔·康德关于宇宙本质的观		1711：大卫·休谟诞生。亚历山大教皇撰写《批评论》。
	1712：约翰·弗兰斯提德的星表第一卷出版。	1712：纽科门研制改良型蒸汽发动机。
	1714：加布里埃尔·华伦海特设计	1714：英国政府为海上测定经度方

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
念；他还认为土星环并非完整的物体，而是由许多小物体组成。	一种水银温度计，所用标度后来称为华氏温度标。	法悬赏 2 万英镑。
		1715：詹姆斯党人第一次叛乱。
	1718：哈雷第一个认识到恒星并非真正‘固定’而是在天空中移动。	**1719**：丹尼尔·笛福写作《鲁宾逊漂流记》。
		1720：英格兰投机狂热——‘南海骗局’——垮台。
	1721：埃德蒙·哈雷向皇家学会宣读两篇有关夜天空何以黑暗这一难解之谜的论文。	**1723**：亚当·斯密诞生。
1724：米切尔，约翰。提出黑洞概念的第一人。		
1724：康德，伊曼努埃尔。对宇宙学感兴趣的德国哲学家，在 1755 年发表的短论中指出行星由围绕太阳的物质云形成，是最早提出这一见解的人之一。	**1725**：弗兰斯提德的完整星表在他逝世后出版。	**1725**：罗伯特·克莱武（‘印度的克莱武’）诞生。维瓦尔第作曲《四季》。
		1726：乔纳森·斯威夫特写作《格

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		利佛游记》。
1729：**提丢斯**，约翰·丹尼尔。1772年最早提出描述行星轨道间隔的后来称为‘波得定则’的数学关系。	**1729**：詹姆斯·布拉德雷发现光行差，即有限的光速和地球绕太阳的运动引起恒星位置的视位移。他利用光行差测定了光速，所得结果相当于308,300公里每秒，与现代数值299,792公里每秒相近。	
1730：**梅西叶**，夏尔。编制了一本重要的暗天体表，其中很多现在已知是星系。		
		1732：乔治·华盛顿诞生。
	1733：切斯特·霍耳用两种不同玻璃制成透镜而发明了消色差望远镜，但并没有立即付诸实用。	
	1735：约翰·哈里森制成他的第一个航海天文钟，希图赢得英国经度局为海上精密守时方法设立的奖金。	
1736：**拉格朗日**，约瑟夫·路易。意大利出生的法国数学家，他在发展动力学理论方面的贡献，对计算行星、人造卫星和天然卫星的轨道十分重要。		
		1737：创建格廷根大学。威廉·霍格思作画《乐善好施者》。
1738：**赫歇尔**，威廉爵士。		
		1739：建立爱丁堡皇家学会。休谟
1750：**赫歇尔**，卡罗琳。		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1782：**赫歇尔，约翰。** 1781年威廉和卡罗琳·赫歇尔发现天王星。他们还将收录100个星云的夏尔·梅西叶表最后扩充到含2,000多个天体。约翰·赫歇尔进一步扩充并修订了他们的工作。	**1742**：安德斯·摄尔西乌斯发明摄氏温度标（以前叫做百分度标）。	撰写《人性论》。
1743：**培利，威廉。**论证生物太过复杂，不可能偶然生成，因而是上帝所创造。	**1744**：让－菲利普·罗伊·德谢梭经过计算得出，只要宇宙的直径达到或超过（用当代话说）10^{15}光年（1千万亿光年），我们朝任何方向眺望太空时都应该看得见一颗恒星。为了解释情况何以并非如此，他认为虚无空间真正吸收遥远恒星光的能量，从而使光在宇宙中传播时变得越来越黯淡。 皮埃尔·德·莫佩尔蒂表述最小作用原理，这是物体（包括光线）必遵循最快捷可能路径运动	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	这一思想的规范形式。	**1745**：詹姆斯党人第二次叛乱。
	1746：列昂哈德·欧拉用克里斯蒂昂·惠更斯的光的波动说解释折射。	**1746**：创办普林斯顿大学。
		1747：塞缪尔·约翰逊的词典问世。
		1748：第一座高炉在英格兰布利斯顿兴建。
1749：拉普拉斯，皮埃尔·西蒙·德侯爵。发展了牛顿的行星运动研究以及开普勒严格椭圆轨道的摄动。最早研究黑洞可能性的人物之一。	**1749**：本杰明·富兰克林发明避雷针。	
1749：波得，约翰尼斯·埃勒特。使他最著名的是以他的姓氏命名的定则，尽管他并未发现这个定则而仅仅普及了约翰·提丢斯的早期工作。	**1750**：托马斯·赖特的《关于宇宙的一种独特理论或者新假说》一书出版。	约 **1750**：中国人口达到 2.25 亿。
		1751：英国历法改革规定 1 月 1 日为每年的法定第一天。
	1752：格雷果里历在英国和世界其他一些地方推行。为了赶上格雷	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	果里历而取消了10天，所以9月3日后的那天成了9月14日。 本杰明·富兰克林进行著名的风筝实验。	
	1753：乔治·里奇曼重复富兰克林风筝实验时被雷电击毙。	
	1755：伊曼努埃尔·康德在其《自然通史和天体论》一书中提出行星是由一个原始物质云凝缩而成。	**1755**：创建莫斯科大学。 **1756**：沃尔夫冈·阿马戴乌斯·莫扎特诞生。
1758：**奥伯斯**，海因里希·威廉·马塔乌斯。宣传了夜天空何以黑暗的难解之谜，改进了彗星轨道计算方法，发现了两颗小行星。	**1758**：哈雷彗星按照预言如期再现。	**1758**：英国正式建立'皇家'度量衡体系。
	1760：丹尼尔·伯努利发现电也遵守与引力定律相似的平方反比率。	**1761**：卢梭发表《新爱络绮思》。约翰·哈里森的'第四号'天文钟被携往西印度群岛进行测试。
	1762：詹姆斯·布拉德雷逝世前不	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	久完成收录了 60,000 颗恒星的表。	
		1763：波士顿惨案。
		1764：理查德·阿克赖特纺纱机获专利。
		1765：詹姆斯·瓦特研制改进型蒸汽发动机。约翰·哈里森收到所赢奖金的头一半。
1766：**沃拉斯顿**，威廉。最先注意到太阳光谱中暗线的医生和物理学家，尽管他当时不明白它们的意义。	**1766**：约翰·提丟斯提出行星轨道的‘波得定则’。	
1767：**庞特**，约翰。第六任皇家天文官，他对格林尼治皇家大文台所用的仪器设备和观测方法都做了很多急需的改进，1833 年开始实行每天下午 1 点整降下天文台最高处一根杆子上的‘报时球’——这是最早的公众报时信号。	**1767**：约翰·米切尔认为天空上靠得很近的恒星确实是空间上有物理联系；它们并非距离完全不同但偶尔在视线方向并列的假双星。	
		1768：《不列颠百科全书》开始每周分期出版。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1769：洪堡，弗里德里希·冯。德国探险家，1851 年在其《宇宙》一书中宣传了塞缪尔·施瓦贝发现的太阳黑子周。	1769：詹姆斯·库克船长（及其他人）在塔希提岛观察到金星凌日。	1769：美国哲学学会第一次会议。 1770：路德维格·范·贝多芬诞生。
	1771：夏尔·梅西叶的第一部重要星云表出版。梅西叶两度补充起初仅收录 45 个天体的表，1780 年增加 23 个天体，1781 年的最后表增加到 105 个天体。	1771：发现氧。托拜厄斯·斯摩莱特写作小说《亨利·克林克历险记》。
	1772：约瑟夫·拉格朗日在理论上发现二体系统轨道平面上的稳定点，即拉格朗日点。 约翰·波得宣传波得定则——行星到太阳的距离与一序列简单数字之间的数学关系。	
	1773：威廉·赫歇尔根据对恒星	1773：在乔治三世国王责成英国经

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	‘自行’的研究，推断太阳和太阳系正朝着武仙座方向运动。	度局结束奖金支付上的拖延行为后，80高龄的约翰·哈里森终于收到他所赢奖金的后一半。 波士顿茶党案。
	1774：内维尔·马斯基林通过测量一座山引起铅锤线对垂直方向偏离的大小而定出了地球的质量。	1775：詹姆斯·瓦特的蒸汽发动机获专利。
	1776：皮埃尔·西蒙·德·拉普拉斯声称，如果任何时刻作用于一切物体的所有力都已知，则未来是完全能够预言的。	1776：美国发表独立宣言。亚当·斯密的《国富论》出版。
1777：高斯，卡尔·弗里德里希。德国数学家和天文学家，发展非欧几何学（对广义相对论很重要）的先驱，除数学和物理学领域的大量成果外，在行星轨道计算方面也完成了重要工作。		1777：莫扎特第九协奏曲首次演出。
		1778：詹姆斯·库克发现夏威夷。
	1779：赫歇尔发现行星状星云。	1779：世界第一座铁桥在英格兰科尔布鲁克代尔建造。
	1781：威廉·赫歇尔发现天王星，	1781：詹姆斯·瓦特发明的用蒸汽

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	它是从太阳往外第七颗行星。 夏尔·梅西叶完成含 100 多个星团或其他可能误认为是彗星的天体的表。	发动机产生旋转运动的系统获专利。
	1783：约翰·米切尔最早向皇家学会陈述可能存在引力强大到连光线也无法逃离的‘黑星’的思想。他的计算以牛顿引力理论和光的微粒说为依据，并设想光粒子应该和其他任何物体一样受引力的影响。	**1783**：蒙戈尔费埃兄弟制造并放飞热气球。11 月 21 日，让·德·罗齐埃和弗朗索瓦·洛朗驾驶一个蒙戈尔费埃气球，成为最早飞行的人。
1784：贝塞耳，弗里德里希。研究了天狼星的周期性‘左右’摆动，证明可以解释为每 50.09 年绕天狼星运动一周的一颗伴星的引力影响。	**1784**：约翰·古德利克发现造父一是一颗变星。	**1784**：本杰明·富兰克林发明双光眼镜。
	1785：威廉·赫歇尔最先用‘行星状星云’称呼与恒星相关联、在望远镜中或天文照片上显示为盘状的星云。赫歇尔还第一次对银	**1785**：气球首次飞越英吉利海峡。 发明地震仪。（指能记录地面振荡的现代型地震仪，不同于公元 132 年张衡发明的仪器。——译

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	河系形状做了大致准确的描绘，但错误地把太阳置于中心附近。	注）
	1786：赫歇尔发表他的星云表，该表后来扩充为《新总表》。	**1786**：最早的煤气照明试验。
1787：**夫琅和费**，约瑟夫·冯。他是用高放大率对经过棱镜的光所形成的虹的花样进行详细研究的第一人。他惊奇地发现，太阳白光的光谱中竟有很多暗线。夫琅和费在太阳光谱中计数了574根谱线，其中很多也在金星和许多恒星光谱中找到。	**1787**：威廉·赫歇尔发现天王星的较大卫星之一——天王卫四。 **1787**：威廉·赫歇尔发现天王星的最大卫星——天王卫三。	
1789：**施瓦贝**，塞缪尔。测量太阳活动周长度的第一人，他在1843年宣布发现了太阳黑子的10年活动周。	**1789**：威廉·赫歇尔发现土星的卫星之一——土卫一。赫歇尔制成主镜直径49英寸（124.5厘米）的大反射望远镜。	**1789**：7月14日攻占巴士底狱引发了法国大革命。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
		1791：法国引进公制；1795 年正式采用。迈克尔·法拉第诞生。
	1794：恩斯特·克拉第尼证明流星来自地球大气外。	**1792－1815**：拿破仑战争。
	1796：皮埃尔·拉普拉斯独立于约翰·米切尔指出可能存在引力强大到连光线也无法逃离的‘黑星’。他还提出太阳系起源的‘星云假说’。	**1796**：爱德华·詹纳发明天花疫苗接种。
		1797：铁路首次用于马车。
	1798：亨利·卡文迪什测定地球质量，由此得出地球平均密度是水的 5.5 倍。	**1798**：托马斯·马尔萨斯发表他的《人口论》（起初用假名）。
		1799：发现罗塞塔石碑。
	1800：赫歇尔发现红外辐射。	**1800**：理查德·特里维西克制造一台高压蒸汽发动机，翌年建造一

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	1801：发现第一颗小行星——谷神星。	辆蒸汽动力车。世界人口约8.7亿。
1803：**多普勒**，克里斯琴·约翰。1842年预言现在称为多普勒效应的现象。	**1802**：托马斯·杨发表有关光的波动理论的第一篇论文。 威廉·沃拉斯顿第一个注意到太阳光谱中的暗线，尽管他当时不明白它们的意义。	**1803**：罗伯特·富尔顿的汽船在塞纳河上试航成功。 **1804**：拿破仑成为法国皇帝。 **1805**：特拉法加战役。
	1807：杨提出‘能量’的概念和术语。	**1807**：伦敦首次使用煤气路灯。罗伯特·富尔顿在纽约市外伊斯特河上试航改进型汽船。
	1800年代前期：折射望远镜的色差问题因发明消色差透镜而得到克服，制造改进型透镜已现实可行，这使折射望远镜在19世纪的大部分期间成为光学天文学的宠儿。	**1808**：汉弗莱·戴维发明电弧光灯。理查德·特里维西克在伦敦建造客运铁路。

科学家诞生及主要成就

1809：**坡**，埃德加·艾伦。推测夜天空黑暗的原因是很多恒星距离如此遥远，以致它们的光还没有到达我们这里——尽管当时认为宇宙无穷大，因而逻辑上天空中应该到处都是实实在在的大量恒星。

1811：**勒威耶**，于尔班·让·约瑟夫。1846 年根据天工星轨道摄动的研究，预言天王星轨道以外存在一颗行星。

1811：**本生**，罗伯特。与古斯塔夫·基尔霍夫一道，表述了光谱学的基本原理。本生的一位助手将迈克尔·法拉第发明的一种装置改造成为世人所称的本生灯。这种灯提供清洁高温火焰，可加热各种物质直到燃烧，从而在各自的

重大科学事件

重大历史事件

1809：查尔斯·达尔文诞生。

1810：创办柏林大学。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
特定波长辐射出可供研究和分析的光。		1812：拿破仑入侵俄国。
1814：埃斯特朗，安德斯·约纳斯。瑞典光谱学先驱。	**1814**：约瑟夫·冯·夫琅和费第一个用高放大率对经过棱镜的光所形成的虹的花样进行详细研究，他惊奇地发现（独立于沃拉斯顿），太阳白光的光谱中竟有很多暗线。夫琅和费在太阳光谱中计数了574根谱线，其中很多也在金星和许多恒星光谱中找到。	**1814**：乔治·斯蒂芬森的第一台蒸汽机车开始工作。 **1815**：滑铁卢战役。美国建成第一艘蒸汽动力军舰。汉弗莱·戴维发明煤矿安全灯。
1816：沃尔夫，（约翰·）鲁道夫。1850年代研究了一直回溯到17世纪的太阳观测记录，证明从那时以来存在一种平均周期为11.1年的太阳活动周。	**1816**：奥古斯丁·菲涅耳提出他自己的光的波动理论。	**1816**：罗西尼创作歌剧《塞尔维的理发师》。
1818：米切尔，玛丽亚。第一位著名的美国女天文学家；她在1847	**1818**：建立爱丁堡天文台。	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
年发现一颗彗星。		
1819：**亚当斯**，约翰·克劳奇。通过对天王星轨道摄动的研究，于1845年预言在天王星轨道以外存在一颗行星。		**1819**：明轮汽船‘萨凡纳号’横渡大西洋。维多利亚女王诞生。
1820：**洛希**，爱德华·阿尔贝。1850年计算出一颗行星周围卫星轨道的极限，后来对星云假说进行了数学分析。	**1820**：成立皇家天文学会。	
	1821：天主教会撤销关于讲授哥白尼学说的禁令。	**1821－1832**：希腊（脱离奥斯曼帝国的）独立战争。
1822：**斯玻勒**，古斯塔夫·弗里德里希·威廉。他发现在太阳活动周的不同阶段，太阳黑子出现在不同的日面纬度。他对历史资料的研究独立揭示17世纪曾有一个太阳黑子短缺期，现在称为蒙德极小期；15世纪也有一个类似的太阳黑子短缺期，现在称为斯玻勒	**1822**：爱丁堡天文台由乔治八世授予‘皇家’称号。	
		1823：查尔斯·麦金托什发明防水外套。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
极小期。		
1824：**开尔文**（拉格斯的开尔文男爵，原名威廉·汤姆孙）。对热力学和电磁辐射理论有很多贡献，成功主持建成第一个横贯大西洋海底电缆通讯系统。开尔文对天文学的主要贡献是关于地球和太阳年龄的研究。他还提出（1848年）绝对温度标。		
1824：**基尔霍夫**，古斯塔夫。解释了夫琅和费线乃太阳大气中的不同元素对光的吸收所产生，并与罗伯特·本生一道，进而表述了光谱学的基本原理。		**1825**：第一列客运蒸汽火车。
1826：**黎曼**，（乔尔格·弗里德里希·）伯恩哈德。提出弯曲空间完整数学描述（非欧几何学）的第	**1826**：海因里希·奥伯斯发表概述无穷大宇宙概念和黑暗夜天空不相容这一难题的里程碑论文。他	**1826**：德拉克洛瓦作画《米索隆基废墟上的希腊》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
一人，建立了后来阿尔伯特·爱因斯坦在其广义相对论中采用的数学构架。	得出的结论与德谢梭的相似——遥远恒星的光被恒星之间的稀薄云状物质所吸收。	
1829：波格森，诺曼。提出了天文学家用来度量天体亮度的星等标，即波格森标度。	**1830：**约瑟夫·亨利发现直流发电机原理，但未公布他的发现。他在迈克尔·法拉第宣布同一发现之后才予以发表。	**1830：**讲英语的美国人开始向西部扩张。
1831：麦克斯韦，詹姆斯·克拉克。成就极丰，包括提出色觉的三原色理论和建立描述电磁辐射性质的方程式。	**1831：**迈克尔·法拉第和约瑟夫·亨利彼此独立发现电磁感应现象。	**1832：**改革法案扩大了英国的选举权。
		1833：卡尔·高斯和威廉·韦伯研制成一台能在相距2公里的两地之间发送信号的电报机。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	1834：约翰·赫歇尔开始他对南部天空的普查。 伯努瓦·克拉珀龙提出热力学第二定律的最早表述。	**1834**：路易·布拉耶完善盲人阅读法。
1835：**斯基帕雷利**，乔万尼·维吉尼奥。以火星研究最为著名的天文学家。1877 年他将火星表面的结构描述为‘canali’（意大利文的‘线条’），被人误译为‘canals’（英文的‘运河’），引起人们纷纷猜测火星上可能存在智能生物。	**1835**：哈雷彗星在哈雷死后第二次回归。 古斯塔夫·科里奥利讲述现在以他的姓氏命名的力。	**1835**：塞缪尔·科尔特发明左轮手枪获专利。约翰·康斯太布尔作画《山谷农家》。
1837：**德拉伯**，亨利。照相光谱学的先驱之一。德拉伯逝世后，他的遗孀设立了一份基金以继续他的工作；这最终导致按照光谱特征收录恒星的《亨利·德拉伯星表》的出版。		**1837**：塞缪尔·莫尔斯的电报机获专利。

科学家诞生及主要成就

1838：**马赫**，恩斯特。哲学家和物理学家，他的思想对当时正在发展狭义相对论的阿尔伯特·爱因斯坦的观点产生了影响。

1838：**莫雷**，爱德华。与阿尔伯特·迈克耳孙进行了著名的未能发现光线在‘以太’中传播的任何证据的实验。

重大科学事件

1838：发表第一个用视差测定的恒星距离——天鹅座 61 的距离。视差是从两个方向观察天体时该天体在天空上显示的视位移，可用来根据三角测量原理计算天体的距离。

1839：建立哈佛大学天文台——美国第一座正规天文台。

1841：弗里德里希·贝塞耳利用 1834 年以后的观测证明，天狼星‘两边摇摆’的规则运动可用一颗每 50.09 年绕天狼星运行一周的伴星的引力影响来解释。

1842：克里斯琴·多普勒首次预言多普勒效应。此效应表明发光或发声体的运动何以能够引起光或声调频率的变化。

重大历史事件

1839：路易·达盖尔记述照片制作技术。查尔斯·古德伊尔发明橡胶‘硫化’法。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	儒略·迈耶第一个表述能量守恒定律。	
	1843：塞缪尔·施瓦贝宣称发现了他认为具有10年周期的太阳黑子活动周。	**1843**：泰晤士河下第一条隧道揭幕。
1844：**玻耳兹曼，路德维格**。认为宇宙可能是一个巨大的统计怪物。根据玻耳兹曼对潘加勒工作的解释，在一个均匀的宇宙中，宇宙一个部分中的所有粒子有时会偶然地正好走上能够产生恒星或星系或大爆炸的正确道路。有序的区域可以偶然地从某种更经常的无序状态中产生。		**1844**：弗里德里希·恩格斯撰写《英国工人阶级状况》。
1845：**克利福德，威廉·金顿**。最早指出黎曼论述的非欧几何学可能是用弯曲空间对宇宙的正确描述的人物之一。	**1845**：罗斯伯爵在爱尔兰中部比尔城堡建成73英寸反射望远镜，这是很多年内世界威力最大的望远镜。	**1845**：首次出版《科学美国人》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1845：伦琴，威廉。发现 X 射线。	罗斯伯爵发现第 个可看见旋涡结构的星系（当时叫做星云）。这就是涡状星系，是具有十分清晰旋臂的盘状星系中特别令人惊叹和漂亮的 -个，按其在天体表中的编号，它又叫做 M51 或 NGC 5194。 伊波利特·菲索和莱昂·傅科使用达盖尔方法首次得到太阳黑子的优质照片。 法拉第指出光是电磁波的一种形式。	
1846：洛基尔，（约瑟夫·）诺曼。根据光谱指纹发现了氦。他是第一个注意到太阳活动和天气循环之间关系的科学家，是《自然》杂志的创办人。	**1846**：根据约翰·亚当斯和于尔班·勒威耶的预言发现海王星。 发现海王星的最大卫星——海王卫一。	**1846**：史密松学会在哥伦比亚特区华盛顿建立。 **1846－1851**：爱尔兰土豆饥荒。
1846：皮克林，爱德华·查尔斯。		

科学家诞生及主要成就

1876－1918年任哈佛大学天文台台长，支配了19世纪最后25年的美国天文学，曾鼓励很多年轻科学家从事天文研究，其中有很多是女性。他花费大量精力编制天体表，最先提出用色指数方法进行恒星分类。

重大科学事件

1847：约翰·赫歇尔爵士最先注意到一条与银道面相交约16°、包含大量巨星的由恒星和气体构成的带——古尔德带。

詹姆斯·焦耳独立发现能量守恒定律。

1848：威廉·克兰奇·邦德发现土星的卫星之一——土卫七。

鲁道夫·沃尔夫采用沃尔夫数作为度量太阳活动的参数，沃尔夫数是根据太阳表面上看到的太阳黑子数和太阳黑子群数定义的。

儒略·迈耶计算得出，如果太阳没有能源，它将在短短5,000年内冷却。

伊波利特·菲索指出多普勒效应也应该适用于光，并预言离观测者而去的物体发出的光显示红

重大历史事件

1848：卡尔·马克思和弗里德里希·恩格斯发表《共产党宣言》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	移。 埃德加·艾伦·坡推测，如果恒星距离如此遥远，以致很多恒星的光还没有到达我们这里，那么即使宇宙广袤无限，夜天空也可能是黑暗的。	
	1849：菲索测定光速，所得结果与现代公认数值相差不到5%。 威廉·汤姆孙（后称开尔文男爵）新创‘热力学’一词。	**1849**：加利福尼亚淘金热。
1851：**菲茨杰拉德**，乔治·弗兰西斯。他最著名的业绩是提出运动物体在其运动方向上缩短（菲茨杰拉德收缩）。 **1851**：**蒙德**，爱德华·瓦尔特。根据历史记录发现从1645到1715年几乎没有太阳黑子活动，这段时	**1851**：让·傅科用长摆演示地球的自转——这样的摆称为傅科摆。地球自转时，摆维持在同一平面内摆动，意味着摆相对于地面缓慢漂移。 弗里德里希·冯·洪堡在其《宇宙》一书中宣传塞缪尔·施瓦贝发现的太阳活动周。	**1851**：维多利亚女王为水晶宫揭幕。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
期现在称为蒙德极小期。	威廉·汤姆孙提出温度的绝对零点概念，并证明它对应于 - 273℃。 发现天王星的卫星之一——天王卫二。	
	1851年后不久：鲁道夫·沃尔夫进行了他最初的太阳活动周研究，发现11.1年的周期。	
1852：**迈克耳孙**，阿尔伯特·亚伯拉罕。多次测定光速，并与爱德华·莫雷进行了著名的未能发现光线在‘以太’中传播的任何证据的实验。		
1853：**洛韦尔**，珀西瓦。他以关于火星生命的思想著称，建立了洛韦尔天文台；在维斯托·斯里弗完成其导致发现星系红移的研究中，他的鼓励起了很大作用。		
1854：**潘加勒**，亨利。证明关闭在	**1854**：赫尔曼·冯·亥姆霍兹认为，	**1854**：伦敦和巴黎之间开通第一条

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
箱子中的‘理想’气体最终必然通过热力学定律允许的所有可能的粒子排列。然而，即使小小一箱子气体也可能有 10^{22} 个原子。如此多的原子要通过所有可能的排列，需要的时间将比宇宙年龄长得多。	太阳的热量是它在自身重量作用下缓慢收缩时释放的引力能维持的。	电报线路。 **1854－1856**：克里米亚战争。
	1855：威廉·帕森斯观察到一些‘星云’的旋涡结构。	**1855**：巴黎罗浮宫揭幕。
1856：**汤姆孙，约瑟夫·约翰**。在卡文迪什实验室工作时，发现原子的一种形式的辐射能够解释为从原子本身分裂出来的叫做电子的细小带电粒子流。在汤姆孙这项研究之前，人们一直认为原子是物质的基本砌块。	**1856**：诺曼·波格森提出一种新的量度天体亮度的标度。	**1856**：亨利·贝塞麦发明一种低廉的炼钢工序。
1857：**赫兹，海因里希**。德国物理学家，1888 年首次人工产生长波辐射。	**1857**：莱昂·傅科开始制造供天文望远镜使用的镀一层薄银膜的玻璃反射镜。	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1858：**普朗克**，马克斯·恩斯特·卡尔·路德维格。1900年提出电磁辐射只能以他称之为量子的确定单元发射和吸收。这解释了黑体辐射的本质，为量子理论奠定了基础。		**1858**：第一根横贯大西洋的电报电缆。
1859：**阿伦尼亚斯**，斯凡特·奥古斯特。提出地球可能已经被太空尘粒携带的微生物‘播种’了生命。	**1859**：麦克斯韦发表论文证明土星环必然是由很多各自沿着自己的轨道绕该行星运动的小颗粒构成，而不可能是完整的物体。 古斯塔夫·基尔霍夫和罗伯特·本生提出用光谱学方法进行化学分析。	**1859**：苏伊士运河工程开始；预定1869年完成。《物种起源》出版。让·勒努瓦研制出第一台（用煤气做燃料的）内燃发动机。宾夕法尼亚州泰特斯维尔钻成第一口近海油井。
	1860年代：光谱学进展表明有些星云确实是气体云。	**1860**：第一辆用让·勒努瓦研制的内燃机驱动的车子。
		1861：意大利统一。第一条连接旧金山和纽约的电报线路。美国内战爆发。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1862：**奎里埃**，查尔斯。提出宇宙的等级模型——宇宙中的物质像俄罗斯玩具娃娃一个套一个那样逐级聚集成越来越大的群体的思想。恒星聚集成星系，星系聚集成星系团，星系团聚集成超星系团等等。	**1862**：弗里德里希·贝塞耳预言的天狼星的伴星被美国望远镜制造者阿尔万·克拉克发现。这是第一颗被发现的白矮星，叫做天狼 B。白矮星是质量和太阳相近，但体积却与地球一样的恒星。	**1862**：理查德·加特林发明机关枪。
1863：**坎农**，安妮·詹普。在用光谱学方法对恒星进行分类方面完成开创性工作的美国天文学家。	**1863**：威廉·哈金斯用光谱学证明恒星大气中存在与地球上相同的化学元素。	**1863**：成立美国国家科学院。
1863：**沃尔夫**，马克西米连·弗兰茨·约瑟夫。专门从事照相和光谱观测，对旋涡星云进行了早期观测研究，发现了 232 个小行星。		
1864：**闵可夫斯基**，赫尔曼。阿尔伯特·爱因斯坦的老师，提出了作	**1864**：詹姆斯·克拉克·麦克斯韦发表一组方程式，描述了电场和磁	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
为物理学相互作用舞台的四维时空概念。	场在空间传播时何以能把它们看成相互垂直的振动。他认为，变化的电场产生变化的磁场，变化的磁场产生变化的电场。这导致他预言存在无线电波。	
1864：维恩，威廉。1911年因对热辐射定律的研究而获诺贝尔奖。		
		1865：刘易斯·卡罗尔（查尔斯·路特维奇·道奇森）写作《艾丽丝漫游奇境记》。美国内战结束。
		1867：《资本论》出版。
1868：莉维特，亨丽爱塔·斯顽。在哈佛大学天文台与爱德华·皮克林共事，发现了造父变星的周光关系。		
		1869：科学刊物《自然》首期出版。第一条连接美国东西两岸的铁路建成。
		1870：弗拉基米尔·伊里奇·列宁（本姓乌里扬诺夫）诞生。
1871：卢瑟福，欧内斯特。证明原子内部的正电荷——逻辑上必然存在，因为已知存在电子的负电荷——连同原子的大部分质量集		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
中在一个细小的核内。		
1872：**德西特**，威廉。最早利用爱因斯坦的广义相对论方程式建立宇宙的数学模型的人物之一。		**1872**：撒拉·贝因哈特开始在巴黎的法兰西喜剧剧场演出。
1873：**史瓦西**，卡尔。求出了阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论方程式描述黑洞的解。	**1873**：理查德·普罗克特提出月球环形山乃陨星撞击而形成。	
1873：**赫茨普隆**，埃希纳。1905年发表赫－罗图最早版本，他后来与卡尔·史瓦西共事。		
1874：**赖曼**，西奥多。研究了氢的光谱特征，即现在称为赖曼线的性质。	**1874**：建立波茨坦天文台。 卡文迪什实验室建成。	**1874**：巴黎举办首次印象派画展。 列维·施特劳斯创制带铆钉的蓝色工装裤。
1875：**斯里弗**，维斯托·梅尔文。发现星系光线红移的第一人，这		**1875**：乔治·比才创作歌剧《卡门》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
项工作一直延续到 1925 年，为埃德温·哈勃发现宇宙的膨胀开辟了道路。他在 1920 年代末还成功地策划了冥王星的搜寻。		
1876：亚当斯，瓦尔特。美国天文学家，他取得的光谱证明天狼 B 虽然比它的伴星天狼星暗得多，实际上却和它一样热。要能够既热且暗，该星必定很小——比地球大不了多少。天狼 B 是最早发现的白矮星。	**1876：**墨冬天文台在巴黎始建。	
1877：金斯，詹姆斯·哈普伍德。虽然金斯对天体物理学的主要贡献相当专深，但也写了很多科普著作，制作了关于宇宙的电台广播节目，并大力宣传宇宙的热寂的思想。	**1877：**阿萨夫·霍尔发现火星的两颗卫星。 乔万尼·斯基帕雷利报道他看见了火星上的线条（被误译为‘运河’）。	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1877：**罗素，**亨利·诺利斯。对埃希纳·赫茨普隆的工作不知情的情况下，提出用恒星的绝对星等和它们的颜色作图的研究方法。		**1878**：发明电话。
1879：**施密特**，伯恩哈德·伏尔德马。1930年发明了施密特照相机。		**1879**：英国的约瑟夫·斯旺和美国的托马斯·爱迪生独立发明最早形式的现代电灯泡。列夫·达威多维奇·布朗斯坦（列昂·托洛茨基）诞生。柴可夫斯基的歌剧《叶甫盖尼·奥涅金》首演。玛丽·卡萨特作画《杯中茶》。
1879：**爱因斯坦**，阿尔伯特。创立了狭义相对论和广义相对论，并对量子理论的发展作出了重大贡献。		
1879：**米兰科维奇**，米留廷。提出地球冰期循环是地球轨道变化改变了季节之间的热平衡而引起的理论。	**1880年代**：用光谱学方法证认出第一个食双星大陵五。	**1880**：澳大利亚绿林好汉内德·凯利被捕。
	1880年代：恩斯特·马赫重提伯克利主教关于一切运动都是相对的，都必须参照某种东西进行测量的	**1881**：建成第一个实用的发电和输电系统。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1882：**爱丁顿**，亚瑟·斯坦利爵士。第一位天体物理学家——进行了爱因斯坦广义相对论的决定性检验，发展了物理学在认识恒星结构中的应用，是1920和1930年代伟大的科学普及家。	见解，指出，如果我们想把地球赤道凸起带解释为离心力所引起，那么‘究竟是将地球看成绕它的轴自转，抑或地球静止而恒星绕地球公转，那是无关紧要的’。——是相对运动造成了凸起带。这个原理后来被爱因斯坦称为‘马赫原理’。	**1882**：纽约开始用电灯。富兰克林·德拉诺·罗斯福诞生。
1882：**哥达德**，罗伯特。1926年研制成第一台液体燃料火箭。		**1883**：美国正式采用四时区制。戈特利布·戴姆勒最先发明现代型内燃发动机，并在一艘船上对它进行了测试。
	1884：国际子午线会议规定通过格林尼治皇家天文台的子午线为经度测量起点的‘本初子午线’。	
1885：**沙普利**，哈罗。1910年代，在威尔逊山天文台工作期间，利用球状星团中变星的观测，测量了我们银河系的结构，并精确定出它的大小。	**1887**：进行了迈克尔孙—莫雷实验，目的是用测量地球运动方向上和与之垂直方向上的光速之差的方法，来探测地球通过以太的运动。这些实验表明，任何光速	**1885**：发明汽车和摩托车。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	测量中都看不到可归因于地球运动的影响，从而证明以太不存在。 约瑟夫·洛基尔对太阳的光谱研究导致氦的发现。	
1888：**弗里德曼**，亚力山大·亚力山德洛维奇。从事流体力学和气象学等应用研究，但他最著名的工作却是对阿尔伯特·爱因斯坦的广义相对论方程式的解。	**1888**：德国物理学家海因里希·赫兹首次人工产生麦克斯韦预言的长波辐射。 利用多普勒效应测定了首批恒星的速度。 美国第一座建在山顶的天文台——利克天文台落成。	**1888**：威廉·巴勒斯发明他的加法器。奥斯卡·王尔德写作《快乐王子》。
1889：**哈勃**，埃德温·鲍威尔。证明很多被分类为星云的天体是其	**19世纪后期**：亨利·潘加勒证明，关闭在箱子中的‘理想’气体最终必然通过热力学定律允许的所有可能的粒子排列。然而，即使小小一箱子气体也可能有 10^{22} 个原子，如此多的原子要通过所有可	**1889**：埃菲尔铁塔竣工。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
他星系；发现红移和距离之间的关系，并推断宇宙在膨胀。	能的排列，需要的时间将比宇宙年龄长得多。 路德维格·玻耳兹曼认为，宇宙可能是一个巨大的统计怪物；按照他的见解，我们不过是一种偶然的原子集合——更为经久的无秩序之中的暂时有序状态而已。	
1889：**福勒**，拉尔夫。与爱德华·米尔恩一道，对恒星的结构进行了开创性的理论研究。		
	1890年代：爱德华·皮克林建立第一个度量恒星温度的标准系统，方法是在两个分开的波长测量星光，并将它们进行比较而算出恒星的温度。	
	1890：史密松学会建立史密松天体物理台。	
1891：**哈马逊**，米尔顿·拉塞尔。与埃德温·哈勃共同从事导致发现宇宙在膨胀的红移测量。		
1891：**查特威克**，詹姆斯。发现了		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
中子，即不带电荷并拥有与质子几乎相同质量的粒子。		
1892：**康普顿**，亚瑟。进行了有关 X 射线的开创性研究。		
1893：**巴德**，（威廉·海因里希·）瓦尔特。1940 年代和 1950 年代前期进行了宇宙距离尺度的重大修正。	1893：爱德华·蒙德在研究太阳活动的历史记录时发现了‘蒙德极小期’。 威廉·维恩发现‘黑体’辐射最大强大处的波长与其温度之间的关系；这使天文学家得以测量恒星的温度。	1893：盐湖城建成摩门教堂。发明拉链。毛泽东诞生。
1893：**欧皮克**，恩斯特。最早指出存在由彗星构成的奥尔特云；这一思想后来由詹·亨德里克·奥尔特加以发展。		
1894：**勒梅特**，乔治·爱德华。他对宇宙的描述成为大爆炸理论的第一个版本。	1894：帕西瓦·洛韦尔建立洛韦尔天文台。	1894：曼彻斯特通海运河竣工。古列尔莫·马可尼研制一具无线电发射机，它能使距离 10 米的电铃振响。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	1895：威廉·伦琴发现X射线。	1895：吕米埃兄弟向公众演示电影。
1896：米尔恩，爱德华·亚瑟。进行了恒星结构的开创性研究；1930年代前期，与威廉·麦克雷共同证明，广义相对论预言的膨胀宇宙实际上可用经典力学和艾萨克·牛顿的引力理论予以很好的描述。	1896：利克天文台首次发表月球的照相图片。 发现放射现象。	1896：发现放射现象。
1896：马克苏托夫，德米特里·德米特里耶维奇。天文光学专家，设计并建造了好几台大反射望远镜，发明了马克苏托夫望远镜。	1897：利用百万富翁查尔斯·叶凯士提供的资金，在芝加哥附近建造叶凯士天文台，该台40英寸折射望远镜至今仍是世界同类望远镜中最大者。 约瑟夫·约翰·汤姆孙发现电子。	1897：卡米尔·毕沙罗作画《意大利的林荫大道》。
1898：兹威基，弗里茨。对天体物	1898：玛丽·居里首创‘放射性’	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
理学作出了很多贡献，研究过超新星、致密星系和星系团，是脉冲星发现前认真对待中子星概念的少数人之一。	一词。	
	1899：欧内斯特·卢瑟福发现放射性有两种形式，他称之为 α 和 β 辐射；第三种形式的 γ 辐射发现较迟。	
1898：**艾特金生**，罗伯特·德斯科。艾特金生在科学上的主要贡献，是同弗里茨·侯特曼斯一道，证明恒星内部原则上可以通过聚变产生能量。		
	19世纪末：出现制造大型镀银玻璃镜面的技术，这些技术为20世纪的大型光学望远镜奠定了基础。	
1900：**奥尔特**，**詹·亨德里克**。用射电天文方法，通过观测氢的21厘米波长特征发射，研究银河系的开创者之一。1950年代前期，他将恩斯特·欧皮克1930年代的思想加以发展，提出存在一个现在称为奥尔特云的彗星带。	**1900**：马克斯·普朗克发现，黑体辐射的性质仅当原子以分立的量子（光子）形式发射或吸收光时才能得到解释。普朗克的发现的根本特质是，原子能量的变化究竟多么小是有极限的——用现代术语说就是这一极限相当于发射或吸收一个光子。	**1900**：第一批近海油井。斐迪南·冯·齐柏林建造他的第一个可操纵的飞艇。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1900：**泡利**，沃尔夫冈。为量子理论的发展作出了很多贡献，包括泡利不相容原理（这是认识白矮星和中子星的关键）；他最先预言了中微子的存在。 **1900**：**佩恩－盖珀什金**，塞西莉亚·海伦娜。与哈罗·沙普利在哈佛共事，1956年成为哈佛大学第一位女天文学教授，她在1920年代的观测帮助确定了氢和氦在恒星物质中占大多数。	**20世纪前期**：查尔斯·查里埃提出等级式宇宙模型；该模型认为宇宙由越来越大的集团组成，每个集团可包含很多其他层次的集团。比如，我们看见恒星聚集成星系，星系聚集成星系团，星系团聚集成超星系团。如果这个理论正确，它所涉及的就是一个延伸无穷大的宇宙。 西奥多·赖曼研究现在叫做赖曼线或赖曼系的氢光谱特征的性质。 乔治·海尔筹建威尔逊山天文台。	
1901：**费密**，恩里科。继承沃尔夫冈·泡利为解释β衰变中观察到的反常性质而提出的‘新’粒子的思想，并为这种粒子取名‘中微	**1901**：安妮·詹普·坎农完成哈佛的恒星分类。	**1901**：第一台电动打字机。首次跨大西洋无线电通讯。 保罗·高更作画《金黄色女人们的肉体》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
子’。他最出名的是领导建成了第一座核反应堆。在天文学方面他声称，地球尚未沦为外星人殖民地这个事实，‘证明’我们是银河系里的惟一文明。		
1901：**海森伯**，魏纳。1920年代提出测不准原理，它表明，在认知量子世界的位置和动量时，存在其固有的不确定性。		**1902**：纽约的‘熨斗’大厦竣工。 **1903**：莱特兄弟成功飞行第一架动力飞机。
1904：**伽莫夫**，乔治。最先进行了大爆炸中的条件的计算，预言了微波背景辐射的存在，并参与了生命分子脱氧核糖核酸遗传密码的破译。 **1904**：**麦克雷**，威廉·亨特爵士。宇宙学家、数学家和天体物理学	**1904**：亨德里克·洛伦兹提出现在称为洛伦兹变换的公式，来描述以不同速度运动的观察者所见的电磁场。 开尔文男爵发表他关于夜天黑暗问题的见解。 威尔逊山天文台落成。	**1904**：巴拿马运河工程开工；预期1914年完成。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
家，对 20 世纪科学的很多领域都有重要贡献。他用光谱学方法证明太阳上的氢比任何其他元素要多得多，也研究星系的演化和星际云中分子的形成，并探讨过稳恒态假说。		
1904：奥本海默，（儒略·）罗伯特。1920 和 1930 年代从事量子理论研究，最著名的是在原子弹研制中所起的作用——他是研制原子弹的洛斯阿拉莫斯国家实验室首任主任。		
1905：柯伊伯，吉拉德·彼得。为重新激起天文学家研究太阳系的兴趣起了主要作用，并对美国宇航局发展不载人行星探测器的计划作出了贡献。	**1905：**爱因斯坦的狭义相对论将空间和时间统一到一个处理匀速直线运动物体之间动力学关系的数学表述中。爱因斯坦认为，以前被视为纯粹电磁波的光，可以用类似粒子的量子——就是现在称	**1905：**狭义相对论发表。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	为光子的东西——来描述，这是量子理论发展中的关键一步。 埃希纳·赫茨普隆公布后来称为赫－罗图的原始版本。	
1906：**贝特，汉斯·亚布勒西特**。计算了恒星从核聚变反应获得其能量的机理。	**1906**：威廉·摩根提出银河系具有旋臂结构。	**1906**：旧金山大地震。凯洛格玉米片首次上市销售。
1906：**汤博，克莱德**。发现了冥王星。		
1906：**博克，巴特**。1947年，博克发现太空中一种小的、暗的、圆形的物质云，显示在恒星或发光云的背景上，这种博克球状体被认为是正在形成过程中的类似太阳的恒星。		
1906：**戈德尔，库尔特**。生于奥地		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
利的美国数学家，他求出爱因斯坦方程式的一个允许进行时间旅行的解。		
1906：**惠普尔**，弗雷德·劳伦斯。惠普尔的科学研究集中在太阳系演化方面，而他最著名的工作是(1950年)提出了彗星的‘脏雪球’模型。		
1906：**伍利**，理查德·范德里特爵士。1955年成为第11任皇家天文官之前曾在好几个天文台工作。他为在刚刚迁往苏塞克斯郡赫斯特蒙苏的格林尼治皇家天文台发展天体物理工作起了主要作用。1963年被封为爵士。	**1907**：爱因斯坦的等效原理得到系统表述，它声称加速度和引力是等效的。 富尼埃·达尔比注意到开尔文男爵的工作，指出，在一个无穷大的宇宙中，所涉及的距离可能如此遥远，以致很多恒星的光还来不及抵达我们这里，从而解释了夜天黑暗这一事实。	**1907**：发明彩色照相。帕布罗·毕加索展出《亚威农的少女》。

科学家诞生及主要成就

1908：**朗道**，列夫·达威多维奇。以液氦性质的研究成果获 1962 年诺贝尔奖。

1908：**阿姆巴楚米扬**，维克多·阿马扎斯坡维奇。1950 年代中期首倡射电星系中观测到的高能事件并非星系之间碰撞的结果，而是由发生在个别星系中心的猛烈爆炸所造成的思想。

1908：**格林斯坦**，杰西·伦纳德。美国天文学家，射电天文学主要开创人之一，曾参与证认第一颗已知类星体 3C 48 的红移。

重大科学事件

1908：通古斯事件，即 1908 年 6 月 30 日早晨 7 点 17 分发生在西伯利亚中部的一次爆炸，现在已认定是一个彗星的冰质碎块在地球大气中的剧烈爆炸。

亨丽爱塔·莉维特在哈佛大学天文台的爱德华·皮克林指导下工作时，发表了造父变星越亮，它经历一个变化周期越慢这一观测事实。莉维特（于 1912 年）通过研究小麦哲伦云中的造父变星，进一步导出亮度和周期之间的准确关系；于是她得以说出我们银河系中造父变星的相对距离。然而，她无法说出真正距离，因为任何单个造父变星的距离还没有得到测量。

1908：赫尔曼·闵可夫斯基证明，

重大历史事件

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	空间和时间在单一数学表述下的统一，数学上等效于四维欧几里得几何中的表述，于是空间和时间结合成时空便可看成一张展平的纸的四维等效物。	
1909：海伊，詹姆斯·斯坦利。第二次世界大战时研究雷达，发现太阳是在4～8米波长范围对雷达设备有干扰的强无线电噪声源。	**1909：**卡尔·波林提出太阳不在银河系的中心。	**1909：**罗伯特·皮里和马休·亨森是抵达北极的首批现代探险家。第一个电烤面包片器上市。路易·布莱里奥从加来飞到多佛尔。
1910：昌德拉塞卡，萨布拉曼扬。以对演化晚期的恒星，特别是白矮星的理论研究和关于黑洞的数学理论最为著名。	**1910：**发现电子的英国物理学家约瑟夫·约翰·汤姆孙又发现了质子。	
1911：福勒，威廉·阿尔弗雷德。对认识元素如何在恒星内部（核合成）和大爆炸中加工出来作出了贡献。	**1911：**埃希纳·赫茨普隆用一种视差方法测量我们银河系中一些较近的造父变星的距离。 欧内斯特·卢瑟福认为，原子	**1911：**罗尔德·阿蒙森的探险队首次抵达南极。伦敦额尔斯科特车站率先采用自动楼梯。亨利·马蒂斯作画《红色内室》。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1911：**惠勒**，约翰·阿希巴德。度信仰平行宇宙概念，对黑体研究有所贡献，并且认为宇宙只是因为我们在观察它才存在。 **1911**：**赛弗特**，卡尔。最早注意到一类活动星系，现在称为赛弗特星系。对这些星系光谱中谱线多普勒效应的分析表明，这些星系中心区存在以数百甚至数千公里每秒的速率运动的热气体云。赛弗特星系在宇宙等级分类中的地位要很久以后发现了类星体和蝎虎座 BL 型天体之后才弄明白。 **1911**：**雷伯**，格罗特。美国无线电爱好者，在获悉卡尔·央斯基发现太空无线电噪声后成为第一位射电天文学家。他于 1937 年在伊利	内部带正电荷的粒子——逻辑上必须存在，因为已知电子带负电荷——和原子的大部分质量一起，都集中在很小的中心核内。	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
诺伊州他家的后院建造了第一具专用的射电望远镜。		
1912：史瓦西，马丁。德国出生的美国天文学家，他的主要研究领域是恒星结构和恒星演化，包括脉动变星的本质。	**1912：**维克多·赫斯在进行气球飞行时发现宇宙线。	**1912：**'泰坦尼克号'沉没。
	1913：亨利·诺利斯·罗素公布他的现在称为赫－罗图——即恒星的绝对星等与它们的颜色之间的关系图——的版本。 尼尔斯·玻尔完成他关于原子的'轨道'模型。	**1913：**亨利·福特采用装配线以加快汽车生产。发明盖革计数器。首演斯特拉文斯基的芭蕾舞剧《春之祭》。
1914：戴维斯（小），雷。设计并建造了第一台测量太阳中微子流量的实验装置。	**1914：**维斯托·斯里弗在洛韦尔天文台工作时发现，15个当时称为旋涡星云（现在叫做星系）的天体中，11个的光显示出红移。 亚瑟·爱丁顿认为旋涡星云是星系。	**1914－1918：**第一次世界大战。
1914：赫尔曼，罗伯特。物理学家，1940年代与乔治·伽莫夫和拉尔夫·阿尔菲一道，研究了宇宙在		**1914：**发明救生衣。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
热大爆炸中起源的模型。		
1914：**泽尔多维奇**，雅可夫·鲍里索维奇。在大爆炸中粒子相互作用类型的理论研究，和应该产生多少氦的计算方面的开创人之一。		
1915：**霍伊尔**，弗雷德爵士。解释了元素如何在恒星内部通过核合成而加工出来，提出了稳恒态宇宙模型。	**1915**：天文学家瓦尔特·亚当斯获得一条光谱，证明天狼B与天狼星本身一样热，但却暗弱得多。要能够既热且暗，它就必然很小——只比地球大一点点。这就是第一颗被发现的白矮星。 阿尔伯特·爱因斯坦将广义相对论提交给普鲁士科学院。广义相对论描述的是空间和时间因物质的存在而畸变时发生的事情。	**1915**：美国的第一次横贯大陆的电话通讯。马克·夏加尔作画《生日》。
1915：**汤斯**，查尔斯·哈德。1950年代提出微波激射理论，并因此项工作于1964年获诺贝尔奖。他促进了微波天文学和红外天文学的发展，领导加利福尼亚大学伯克利分校的一个科研小组在1968年发现了第一批星际空间的多原子分子——水和氨。		

科学家诞生及主要成就

1916：**狄克**，罗伯特·亨利。他以宇宙背景辐射的研究最为著名。

1916：**什克洛夫斯基**，约瑟夫·萨姆伊洛维奇。在有关可能存在地外生物的辩论中极为活跃，1953年最早提出蟹状星云的射电波和X射线均产生于同步加速辐射，还预言了天文脉泽的存在。

重大科学事件

1916：广义相对论方程式描述虫洞的解，在理论提出后不久就找到了，不过那时没有对那些解做这样的说明。

爱德华·巴纳德发现巴纳德星。

海因里希·赖斯纳最先求出阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论方程式的赖斯纳－诺德斯特罗姆解，它描述的是一个无自转有电荷的黑洞。这种黑洞不大可能存在于现实宇宙中，因为它将从周围吸引相反电荷而很快变成电中性的史瓦西黑洞。这个解是赖斯纳提出，后来诺德斯特罗姆也独立得到同样结论。

爱因斯坦将卡尔·史瓦西对广义相对论的结论的分析提交给普鲁士科学院。史瓦西计算了球形

重大历史事件

1916：弗兰克·劳埃德·赖特建成东京的帝国饭店。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	物体周围时空几何特性的严格数学模型，证明对任何质量都存在一个临界半径，现在称为史瓦西半径，它对应时空一种极端的变形，使得如果质量被挤压到临界半径以内，空间将弯曲到围绕该物体并将它与宇宙其余部分隔断开来。它实际上成为了一个自行其是的独立的宇宙，任何东西（光也在内）都无法逃离它。这是最简单形式的黑洞——史瓦西黑洞，尽管其度规实际上能描述任何球状质量团块近旁的时空。	
	1917：自治领射电天体物理台在加拿大不列颠哥伦比亚省维多利亚附近建立。 在将广义相对论应用于宇宙时，爱因斯坦发现他的方程式要求宇宙必须要么膨胀，要么收缩，	**1917**：俄国革命。克拉伦斯·伯宰发明冷冻食品。约翰·辛格·萨金特为约翰·戴维森·洛克菲勒画像。约翰·菲茨杰拉德·肯尼迪诞生。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	但不能静止。为了使模型静止，爱因斯坦引进‘宇宙学常数’，作为使广义相对论描述的宇宙静止下来的一个参数。他后来称这个‘宇宙学常数’是他的最大失误。 威廉·德西特也求出爱因斯坦方程式的一个‘膨胀宇宙’解。 100 英寸（2.5 米）望远镜在威尔逊山开始运行。	
1918：德伏古勒，吉拉德·亨利。专门研究星系的分布，并试图测定哈勃常数值，因而也就是为了测定宇宙年龄。 **1918：赖尔**，马丁爵士。英国射电天文学家，第 12 任皇家天文官。他是第二次世界大战后数十年内发展射电天文学的先驱之一，在干涉测量和综合孔径方法研究中	**1918**：龚内尔·诺德斯特罗姆求出阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论方程式的赖斯纳－诺德斯特罗姆解，它描述的是一个无自转有电荷的黑洞。这种黑洞不大可能存在于现实宇宙中，因为它将从周围吸引相反电荷而很快变成电中性的史瓦西黑洞。这个解是诺德斯特罗姆独立于赖斯纳提出的。 哈罗·沙普利公布银河系大小	**1918**：不列颠和澳大利亚之间首次无线电通讯。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
发挥了巨大作用。	的第一个准确估计，并正确地将太阳置于银河系的外区。	
1918：费恩曼，理查德。荣获诺贝尔奖的量子物理学家和伟大的教师。他说，双孔实验包藏了量子力学的‘核心秘密’。		
1919：邦迪，赫尔曼爵士。稳恒态宇宙模型最初三位创始人之一，另两人是汤米·戈德和弗雷德·霍伊尔。	**1919：**太阳引力造成的星光弯曲在一次日食时得到测量，结果表明它符合爱因斯坦而非牛顿的预言。	
1920：戈德，汤米。生于奥地利的美国物理学家，他是 1940 年代稳恒态假说的首创人之一，也是 1968 年撰文提出脉冲星乃快速自转中子星的第一人。	**1920：**阿尔伯特·亚伯拉罕·迈克尔孙及其同事们首创一种形式的综合孔径。迈克尔孙测量了参宿四的直径——这是太阳以外任何恒星直径得以测定的第一次。 威廉·德拉伯提出存在一种与质子对应的中性粒子——中子。	**1920：**约翰·汤普森发明冲锋枪。 **1920 年代：**无线电广播大发展。 **1920－1933：**美国禁酒。
1920：林忠四郎。日本天体物理学家，他在 1950 年代对大爆炸理论		

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
和 1960 年代对恒星演化研究均作出了贡献。年轻恒星在向赫－罗图的主序接近时的演化迹程就是以他的姓氏命名的。	**1920 年代**：埃德温·哈勃在当时认为是远方星云的仙女座星系的外区证认出个别恒星，证实了康德关于这类星云实际上是遥远的完整的星系的假说。 埃德温·哈勃的工作，还有其他观测者，不仅证明我们银河系不过是大宇宙中众多星系中的一个，而且星系随着宇宙的膨胀而彼此分开。这就使爱因斯坦引进的宇宙学常数成为不必要。	
1921：**萨哈罗夫**，安得列·德米特里耶维奇。他是参与研制苏联氢弹的权威科学家，还提出了大爆炸中物质形成机理。		**1921**：毛泽东参与建立中国共产党。
1921：**阿尔菲**，拉尔夫·艾舍尔。他与乔治·伽莫夫和罗伯特·赫尔曼一道，完成了关于元素如何在大爆炸中生成的最早的计算，并预言了宇宙微波背景辐射的存在。	**1921**：西奥多·卡鲁扎指出，将广义相对论方程式推广到五维度，它们就自动给出描述电磁场的麦克斯韦方程式。	
1922：**伯比奇**，（爱丽诺·）玛格丽特。出任格林尼治皇家天文台台	**1922**：亚力山大·弗里德曼求出爱因斯坦方程式的一组描述不同宇	**1922**：贝尼托·墨索里尼在意大利掌权。发现埃及国王图坦卡门的

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
长的第一位女性。她常与她的丈夫杰弗利·伯比奇共事，这对夫妻小组最著名的工作是和弗雷德·霍伊尔及威利·福勒共同进行的核合成研究。	宙模型的解。	陵墓。
1923：史密斯，弗兰西斯·格雷厄姆爵士。既是格林尼治皇家天文台台长，又是皇家天文官，尽管他并非同时保有这两个职位。除了在发展诸如干涉测量等射电天文方法中发挥关键作用并在行政管理方面表现才干之外，史密斯也对脉冲星和星际空间磁场的研究作出了重要贡献。	**1923**：路易·德布罗意提出波粒二象性概念。	**1923**：东京大地震；超过 13 万人丧生。
1924：休伊什，安东尼。1967 年参与发现了脉冲星。 **1924：萨尔皮特**，埃德温。1952 年	**1924**：亚瑟·爱丁顿论述质光关系的推论。粗略地说，恒星的质量越大，它的内部必定越热，才能产生足够的内部压力来支持自身	**1924**：首次使用杀虫剂。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
提出碳可能在恒星内部通过叫做三α过程的反应由氦加工而成。	抗衡引力坍缩。 爱丁顿认为白矮星是由简并物质构成的。 萨蒂恩德拉·玻色和阿尔伯特·爱因斯坦提出概述玻色子（本质上类似光子的'粒子'）行为的统计规则。	
1925：伯比奇，杰弗利。常与妻子玛格丽特·伯比奇共事，这对夫妻小组最著名的工作是和弗雷德·霍伊尔及威利·福勒共同进行的核合成研究。 **1925：卡梅隆**，埃莱斯泰·格雷厄姆·瓦尔特。1950年代中期独立提出与B^2FH小组相似的恒星内部核合成的思想。	**1925：**沃尔夫冈·泡利陈述泡利不相容原理，这是一个量子体系中的任何两个电子（或现在称为费密子的粒子家族的其他成员）不能处于完全相同量子态这一自然法则的一种表述。	**1925：**弗兰茨·卡夫卡发表小说《审判》。
1926：桑德奇，艾伦·雷克斯。使	**1926：**恩里科·费密和保罗·狄拉克	**1926：**首部有声电影《爵士歌王》。

科学家诞生及主要成就

他最出名的是他在关于量度宇宙当前膨胀有多快的哈勃常数值的论战中的贡献。

重大科学事件

提出费密子行为遵守的规则，表明费密子——即诸如电子、质子和中子等构成‘实在物质’的粒子，以及一些只在粒子加速器的高能相互作用过程或高能天体中产生的比较奇异的粒子——的总数永远不会在粒子相互作用中单独地变化；如果产生了一个费密子，就必定有一个对应的反粒子相伴而生。所以宇宙中的费密子总数永远相同，并且由大爆炸时的条件决定。

吉尔伯特·路易斯将光的粒子称为‘光子’。罗伯特·哥达德研制第一枚液体燃料火箭。

引力和电磁场的五维形式的统一由奥斯卡·克莱因推广到包括量子效应，这就是后来以两位开创此项研究的先驱科学家姓氏命名的卡鲁扎－克莱因理论。但这

重大历史事件

约翰·罗基·贝尔德发明一种电视系统。罗伯特·哥达德将一枚液体燃料火箭发射到56米的高度。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	种形式的统一长期无人采用，因为要把卡鲁扎－克莱因理论最初获得成功后就发现了的更复杂的弱和强相互作用效应包括进来，它要求的就不是一个而是好几个‘额外’的维度。	
1927：阿尔普，哈尔顿·克里斯琴。提出宇宙学红移的通常解释并非总是适用。 **1927：沃尔芬代尔，阿诺德。**沃尔芬代尔于1991年接替弗兰西斯·格雷厄姆－史密斯出任第14任皇家天文官，但只任职到1994年底。	**1927：**魏纳·海森伯提出测不准原理，说的是量子世界中存在着一种了解位置和动量的内在不确定性。你永远不可能同时知道比如电子那样一个实体的位置和动量两者——如果你试图精密测量动量，就会加强实体的‘波动性’，使它扩大从而位置不确定；如果你试图精密测量它的位置，就将使它波动性变得不确定。 观察到电子具有波的特性。	**1927：**查尔斯·林白飞越大西洋。
	1928：乔治·伽莫夫提出允许粒子	**1928：**第一部米老鼠卡通片。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	穿透势垒（如原子核周围的势垒）的隧道效应，作为α衰变的一种解释。该理论论证道，例如两个质子在恒星内部彼此接近时，它们被自己携带的正电荷所排斥，从而制止它们接触，但它们能够接近到如此程度，以致其量子波函数重叠，使得它们可以相互作用。这一效应也能应用于α粒子。	
1929：施密特，马登。用人红移解释类星体反常光谱的第一人。	**1929：**埃德温·哈勃用造父变星方法测量仙女座星系和其他星系的距离。 通过发现本星系群以外星系光的红移，他推断宇宙在膨胀，使爱因斯坦最初提出的宇宙学常数成为不必要。	**1929：**开始采用调频无线电广播。泡沫橡皮上市。
1930：德拉克，弗兰克·唐纳德。以搜寻地外智能（塞提计划）方	**1930：**美国天文学家克莱德·汤博发现冥王星。	**1930：**普林斯顿成立高级研究所。弗兰克·惠特尔发明喷气发动机。

科学家诞生及主要成就

面的贡献最为著名。

重大科学事件

沃尔夫冈·泡利提出存在后来被称为中微子的粒子。

1930年代：天文学家首次意识到我们银河系中至少有一些暗物质。

威廉·麦克雷和爱德华·亚瑟·米尔恩证明，广义相对论预言的膨胀宇宙实际上可用经典力学和艾萨克·牛顿的引力理论予以很好的描述。

阿尔伯特·爱因斯坦和内森·罗森发现，史瓦西解所代表的黑洞，实际上就是他们称之为两个平坦时空区之间的桥（现在叫做爱因斯坦－罗森桥）的东西。虽然这在当时被视为数学精品，但科学家一般认为必定有某条自然定律阻止了虫洞的存在。

爱因斯坦预言存在被称为‘爱因斯坦环’的引力透镜效应，

重大历史事件

1930年代：世界人口开始剧增。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	该效应是，遥远点源（如类星体）发来的光或其他电磁辐射，被视线方向的中间天体（如星系）的引力扩散为天空上的一个环。 伯恩哈德·施密特研制施密特照相机，这是主要用于拍摄天空照片的一类光学望远镜——实际上是一种广角照相机。 使用光谱学方法的观测表明，宇宙具有接近 3K 的温度，这一结果的重要性一直要到 1960 年代才为人们所认识。	
1931：**彭洛斯**，罗杰。为发展黑洞理论作出了重要贡献。 **1933**：**贾可尼**，里卡多。意大利出生的美国物理学家，发展 X 射线天文学的先驱。	**1931**：萨布拉曼扬·昌德拉塞卡发现，一旦消耗完了核燃料，则质量超过约 1.4 倍太阳质量的白矮星将无法支撑自身抗衡引力坍缩。由此推知，任何死亡的恒星若其剩余质量超过这一昌德拉塞卡极限，必将无止境坍缩，形成现在	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	称为黑洞的东西。 卡尔·央斯基在为贝尔电话实验室探查天电来源时，检测到银河系的射电辐射。	
	1932：詹姆斯·查特威克发现中子，即不带电荷而质量与质子几乎相同的粒子，于是原子核被解释成由强核相互作用或强力维持在一起的质子和中子的集合。 卡尔·安德森发现正电子。 约翰·考克洛夫特和欧内斯特·沃尔顿使用第一座粒子加速器来‘分裂原子’。 1862号小行星阿波罗在走到离地球不到0.07天文单位时被发现。	**1932**：阿拉伯半岛发现石油。诺埃尔·科沃德的喜剧《生活设计》首演。
1933：彭齐亚斯，阿尔诺·艾伦。背景辐射的两位偶然发现者之一	**1933**：国际天文学联合会将星座系统规范化，把天空分成88个区域。	**1933**：阿道夫·希特勒成为德国总理。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
(另一人是罗伯特·威尔逊)。		
1934：**克尔**，罗伊·帕特里克。对认识黑洞作出了重要贡献，求出了广义相对论方程式的克尔解。	**1934**：路易·德布罗意采用‘反粒子’一词。 瓦尔特·巴德和弗里茨·兹威基提出‘超新星代表着从普通恒星到中子星的过渡’。	
1935：**皮布尔斯**，(菲利普·)詹姆斯·埃德温。最感兴趣的研究领域是大爆炸物理学、宇宙大尺度结构和背景辐射。	**1935**：提出罗伯森－沃克度规，它描述的是均匀和各向同性宇宙——也就是遵守宇宙学原理的宇宙——中的时空性质。该度规是大爆炸宇宙学的各种数学模型的基础，乃霍华德·罗伯森和A.G.沃克彼此独立提出。 鲁佩特·怀尔特探测巨行星上的甲烷和氨。	**1935**：罐装啤酒上市。
1936：**威尔逊**，罗伯特·伍德罗。背景辐射的两位偶然发现者之一(另一人是阿尔诺·彭齐亚斯)。		**1936**：企鹅出版社推出首批平装书。爱德华八世退位。巴迪·霍利诞生。
		1936－1939：西班牙内战。
	1937：格罗特·雷伯建造一具专用	**1937**：日本侵略中国。惠特尔研制

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	射电望远镜以紧跟央斯基的发现。	一台实用的喷气发动机。
	1938：汉斯·贝特和卡尔·冯·魏扎克独立计算出碳氮氧循环——大质量热星内部提供能源的核聚变反应过程。 汉斯·贝特和查尔斯·克里奇菲尔德最先提出质子-质子链作为太阳的能源。 奥托·阿恩分裂铀原子核。	**1938**：拉兹罗·比罗发明圆珠笔。美国尼龙投放市场。让-保罗·萨特写作小说《恶心》。
	1939：乔治·弗尔科夫和罗伯特·奥本海默发表论文证明，中子星的质量有一个上限（奥本海默-弗尔科夫极限），不可能存在超过这一上限的稳定中子星。 罗伯特·奥本海默和哈特兰·斯奈德发表现在认为是关于黑洞的天体物理特性的最早的清晰说明。	**1939－1945**：第二次世界大战。 **1939**：德国首次试飞喷气式飞机 He 178。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	1940年代：弗雷德·霍伊尔杜撰‘大爆炸’一词来嘲笑这一理论。 一些宇宙学家推出‘完全宇宙学原理’，试图把地球平凡原理加以推广。完全宇宙学原理认为，不单是从宇宙的任何地方，而且在任何时候，宇宙都应该显得一样。这导致了赫尔曼·邦迪、汤米·戈德和弗雷德·霍伊尔首创的稳恒态假说，但这个假说已经被宇宙随时间推移而变化以及宇宙几乎肯定起源于有限时间以前的大爆炸的证据所驳倒。 地球同步轨道对通讯的重要性，早在人们实际掌握这一技术之前，就已为亚瑟·克拉克所认识。 **1940年代**：乔治·伽莫夫和拉尔	**1940**：第一批抗生素。首次使用冷冻干燥法保存食品。约翰·楞农诞生。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	夫·阿尔菲最先试图描述大爆炸的条件。他们应用当时正在发展的量子物理知识，研究了宇宙创生时应该发生过的核相互作用类型，发现原始氢应该已经部分转变成氦。这一发现叫做 αβγ 理论。	
1941：**泰勒**（小），约瑟夫·胡顿。1974 年与罗素·胡尔斯一道发现了脉冲双星。	**1941**：德米特里·马克苏托夫设计出马克苏托夫望远镜，这是施密特照相机的一种改进型，其光学系统在大视场内具有极优良的像质，是天文照相的理想仪器；但这种望远镜采用的改正透镜很难磨制成大孔径仪器，因而限制了在专业天文研究中的应用。	**1941**：日本偷袭珍珠港。
1942：**霍金**，斯蒂芬·威廉。为认识黑洞和宇宙起源作出了巨大贡献。	**1942**：芝加哥大学用一个‘铀’堆首次实现受控链式核反应。	**1942**：实现核能的释放。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
1942：**里斯**，马丁·约翰爵士。英国天体物理学家，1995年成为第15任皇家天文官。他的研究兴趣几乎遍及整个天体物理学，从类星体和活动星系的本质到宇宙的创生、黑洞、暗物质之谜以及基于人择原理的宇宙学。1992年被封为爵士。		
1943：**贝尔－伯内耳**，（苏珊·）乔丝琳。1967年还是一位学生时发现了脉冲星。		**1943**：第一台电子计算机。
	1944：瓦尔特·巴德首次引入‘星族I’和‘星族II’等词来区分不同类型的恒星。星族I恒星主要指我们银河系平面，特别是旋臂中的恒星；星族II恒星指出现在我们银河系的晕，特别是球状星团和银心附近的恒星——它们都在旋臂定义的平面两边厚得多的一层内。 卡尔·冯·魏扎克重新提起太	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	阳系起源的星云假说，从此这一假说一直得到公认。	1945：研制成功原子弹。
	1946：焦德雷班克开始射电天文研究。 天鹅座A由马丁·赖尔证认为第一个已知射电星系。 罗伯特·狄克和一个寻找太空低温辐射的射电天文学家小组的同事们未能发现温度高于20K——这是仪器规定的极限——的辐射的证据。	**1946**：联合国第一次大会。
1947：**古斯**，艾伦·哈维。提出暴涨思想并将它命名为'暴涨理论'的美国物理学家。	**1947**：巴特·博克发现太空中一种小的、暗的、圆形的物质云，显示在恒星或发光云的背景上。这些博克球状体被认为是正在形成过程中的类似太阳的恒星。	**1947**：首次超音速飞行。印度脱离英国统治而独立。
	1947：帕洛马天文台建成海尔望远	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	镜，它在此后 30 年一直是世界最大的望远镜。	
1948：**林德**，安得列·德米特里维奇。在发展叫做暴涨的描述极早期宇宙的理论中起了很大作用；对认识规范理论中的费密子也作出了重要贡献。1990 年代中期，他仍在发展宇宙是一个自我复制系统的思想，认为这个系统既生产了其他暴涨宇宙幼芽，它本身又是从另一个宇宙长出的幼芽。	**1948**：拉尔夫·阿尔菲和罗伯特·赫尔曼将 αβγ 理论加以推广，预言今天的宇宙必定充满温度约 5K 的背景辐射。 美国国家标准局研制第一台原子钟。吉拉德·柯伊伯发现天王星的卫星之一——天王卫五。 出现有记录的最大太阳黑子，它在太阳表面上覆盖的面积超过 180 亿平方公里。（此黑子应该是出现在 1947 年。——译注）	**1948**：乔治·奥威尔写作讽刺小说《一九八四》。
	1949：弗雷德·惠普尔提出彗星的'脏雪球'模型。	
1950：**胡尔斯**，罗素·艾伦。1974 年与约瑟夫·泰勒一道发现了脉冲	**1950**：詹·奥尔特提出太阳周围有一个巨大彗星云的思想，该云远	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
双星。	达最近恒星距离的中点处。	
	1950 年代：帕洛马山天文台用 48 英寸施密特照相机实行帕洛马巡天计划，这是一套照相天图，它覆盖了整个北天空和从洛杉矶能看到的一部分南天空。 首批重要射电望远镜采用综合孔径方法。 研制成功米尔斯十字，这是射电望远镜的一种，它采用干涉测量原理，由两列沿彼此垂直的直线排列的天线组成，是以天文学家 B.Y. 米尔斯的姓氏命名的。 发现大量射电星系，它们都是远在银河系以外的天体，在很多方面与射电宁静星系类似，但产生的射电噪声却比我们银河系或仙女座星系多得多。 利用氢的波长 21 厘米的独特	**1950 年代**：电视广播大发展。 **1950**：朝鲜战争爆发。用餐者俱乐部率先使用赊账卡。 **1951**：雷明顿·兰德售出第一台面向市场的电子计算机。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	发射发现了太空氢云。这类研究不仅能了解星系中氢的分布，而且能考察氢的运动——因为这一辐射发生在极其准确的已知波长，所以发射星云的运动便可通过多普勒效应清楚显现出来。	
	1952：瓦尔特·巴德对造父变星距离尺度的修正使我们所知的宇宙的大小和年龄增加了一倍。	**1952**：发明晶体管收音机。珠穆朗玛峰被征服。
	1953：约瑟夫·萨姆伊洛维奇·什克洛夫斯基第一个提出，蟹云脉冲星的射电波和X射线产生于同步加速辐射。同步加速辐射是脱离了原子的自由电子在强磁场中回旋运动时产生的——这种过程经常产生射电辐射，但蟹状星云中的能量极多，致使电子也能辐射可见光。	**1953**：解开脱氧核糖核酸结构之谜。试爆氢弹。发明微波激射器。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	米尔顿·哈马逊发现一个退行速度达光速20%的星系。	1954：美国盒装便餐上市。首次短于4分钟跑完一英里。
	1955：史密松学会从华盛顿迁往哈佛。 英国剑桥建成第一台射电干涉仪。	
	1956：通过监测美国萨凡纳河核反应堆溢出大量中微子的实验而证明了中微子的存在。	1956：苏联平定匈牙利暴动。第一条横贯大西洋的电话电缆。
	1957：杰弗利及玛格丽特·伯比奇、威利·福勒和弗雷德·霍伊尔发表'B^2FH'论文，描述了除原始氢和氦以外所有天然存在的各种原子核，是如何在恒星内部通过核合成制造出来的。 10月4日苏联发射第一颗人造卫星斯普特尼克1号。	1957：成功发射第一颗人造地球卫星。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	纳非尔德射电天文实验室建成直径250英尺（76.2米）全可动射电望远镜，并开始运营。该望远镜于1987年被命名为洛弗尔望远镜，以纪念伯纳德·洛弗尔爵士。 罗伯特·狄克撰文指出，宇宙的大小'不是随意的，而是由生物因素制约的'。	
	1958：成立美国宇航局以统管美国一切民用空间计划。	**1958**：菲德尔·卡斯特罗领导古巴革命。
	1959：弗里曼·戴森指出，局限在太阳系这类单一行星系中的智能物种，最终将因种群的膨胀而重新安排行星提供的原材料，以建造一个环绕母行星的空心球。 苏联月球III号探测器首次获得月球背面的照片。	**1959**：第一台面向市场的复印机。第一艘成功的气垫船。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件

1960：建立卡尔·史瓦西天文台。

加州理工学院的科学家们打算研究太阳表面热气体的无规（或混沌）运动时，偶然发现了太阳表面的振动，利用这种振动可以通过日震学方法来探测太阳内部。但是，直到 1980 年代发展了细致分析这些振动所需的技术后，这个发现才获得了应用。

提出综合孔径方法。

1960 年代和 1970 年代：夸克理论得到发展。

1960 年代早期：伊戈尔·诺维科夫预言存在背景辐射。

威利·福勒和弗雷德·霍伊尔最先提出正在死亡的恒星内部铁原子核的‘光致蜕变’。正在死亡

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	的恒星利用涉及硅的核反应来维持星体的稳定；但这些反应只能持续大约一星期。当全部硅转变为铁族元素后，在不到一秒钟的时间内核心就从太阳般大小坍缩成直径仅仅几十公里的团块。在这个初始坍缩阶段，引力能转化为热，产生大量高能光子，这些光子将核心中的重原子核拆开，正好与此前1,100万年间的核聚变的作用相反。 发现一个红移为0.46的微弱射电星系，是当时已知最遥远的天体。到1990年代前，红移的最高记录将猛增到4以上，其对应的回顾时间等于大爆炸以来宇宙历史的90%。	
	1961：澳大利亚国家射电天文台——帕凯斯天文台建成一具64	**1961**：第一次载人太空飞行。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	米抛物面天线，它成了澳大利亚望远镜的组成部分。 尤里·加加林成为第一位太空人。	
	1962：利用火箭运载的探测器发现我们银河系中的典范 X 射线源——天蝎座 X－1。当天文学家能够用火箭、气球和（终于）人造卫星将 X 射线探测器送到大气吸收层以上，X 射线天文学才算正式起步。 格林班克望远镜开始投入使用。 美国水手 2 号探测器抵达金星。 用阿雷西博射电望远镜发射雷达波探测水星。	**1962**：古巴导弹危机。美国通讯卫星——电星升空并首次在美国和欧洲之间转播电视图像。
	1963：罗伊·克尔求出克尔解——	**1963**：约翰·菲茨杰拉德·肯尼迪被

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	对不带电荷的自转黑洞的数学描述。这是最可能存在于我们宇宙中的黑洞。 首次发现星际分子——羟基。 发现太阳以外的第二个X射线源——天鹅座X-1。 西里尔·哈泽德指出，月球将于1963年在很多未能被证认为光学恒星或星系的强射电噪声源前面经过；这种掩现象使天文学家得以根据月面边缘切断射电噪声的时刻，精密测定了射电源3C 273的位置。这导致将3C 273证认为一个恒星状天体——这颗'恒星'的红移很大，大小却与我们太阳系相仿——类星体。 苏联探测号系列飞行器的第一枚升空。	刺。
	1964：为探测太阳中微子而设计的	**1964**：北部湾事件导致美国-越南

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	戴维斯探测器安装在南达科他州雷德市深处地下 1.5 公里的霍姆斯泰克金矿中；雷·戴维斯及其同事将在这里监测太阳中微子流量。这些实验结果将得出探测到的中微子只有预期的太阳中微子数量的大约1/3的结论。 美国徘徊者 7 号月球探测器提供了 4,316 幅高质量近距离月球照片。	战争爆发。
	1965：罗杰·彭洛斯证明，根据广义相对论，任何收缩到自身视界以内的物体，必将一直坍缩到一个奇点，即密度无穷大而体积为零的点；在那里，物理学定律失效，任何事情都确实可能发生。 在猎户座星云中证认出第一个 OH 脉泽。 以斯拉·纽曼及其同事，在克	**1965**：第一颗通讯卫星升空。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	尔解的基础上，求出爱因斯坦广义相对论方程式的克尔－纽曼解，它描述的是一个带电荷的自转黑洞。 阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊在贝尔研究实验室偶然发现一个顽固的干扰源，被证明就是背景辐射。 晨鸟通讯卫星进入与地球同步的‘克拉克轨道’。	
	1966：约翰·惠勒和佛朗哥·帕西尼推测蟹状星云发射的能量可能来源于一颗自转的中子星。 弗雷德·霍伊尔、鲍勃·瓦格纳和威利·福勒发展对大爆炸核合成的理解。 探测到天鹅座 A 的 X 射线。 天蝎座 X－1 被证认为一颗光学恒星。	**1966 – 1968**：中国发生文化大革命。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	苏联月球 IX 号探测器完成首次月面软着陆。	
	两枚美国月球轨道空间探测器发回壮观的月球照片。	
	1967：佛朗哥·帕西尼发表一篇论文指出，如果一颗普通恒星坍缩而形成中子星，坍缩将使恒星的自转加快，而且，它收缩时不但把物质挤压进较小的体积，还会增强恒星的磁场。这样一个自转的磁偶极子将倾泻出大量电磁辐射。	
	艾萨克·牛顿望远镜（INT）在苏塞克斯郡的赫斯特蒙苏开始运行。	
	在安东尼·休伊什指导下工作于剑桥的射电天文学家乔丝琳·贝尔发现第一批脉冲星。	
	美国水手 9 号空间探测器发	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	回火星照片。 在理论家约翰·巴科和实验家雷·戴维斯的努力下研制的戴维斯探测器开始运行。该探测器使用（全氯乙烯中的）氯来监测太阳中微子到达事件，但它只发现了预期的太阳中微子数量的大约1/3，从而引发了现在所称的‘太阳中微子问题’。	
	1968：证认出第一个蝎虎座 BL 型天体。蝎虎座 BL 型天体是位于某些星系核心部位的奇特、明亮、致密、变化极大的强大能源，大概与类星体有密切关系。 帕奥罗·梅非发现梅非星系。这是两个差不多就在银河系平面上的星系，几乎被星际尘埃遮挡。 发现蟹云脉冲星。 发现船帆座脉冲星，这是与	**1968**：苏联军队平定捷克斯洛伐克的‘布拉格之春’。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	船帆座中一个年龄 10,000 岁的超新星遗迹相关联的脉冲星。 汤米·戈德最先发表关于脉冲星的射电噪声脉冲是快速自转中子星的辐射束像灯塔信号那样扫过我们时所产生的思想。这一思想现在称为帕西尼－戈德模型。	
	1969：蟹云脉冲星的发现和研究，排除了对帕西尼－戈德模型的任何理性怀疑。 对与天蝎座 X－1 相联系的暗弱变星的研究，使保罗·费尔德曼和约翰·格里宾得以证明它是一颗周围有吸积盘的中子星。 首次载人飞船月面着陆。	**1969**：人类首次登上月球。
	1970：美国贝尔实验室发明电荷耦合器件（CCD）。	**1970**：波音 747 飞机首次用于横贯大西洋航线。软盘用于储存计算机数据。

1970：韦斯特博克射电天文台启用。

第一颗X射线天文卫星乌呼鲁升空，这是专门用于在X射线波段研究宇宙的轨道天文台，从此改变了X射线天文学的面貌。

莫纳克亚天文台安装第一台大望远镜（224厘米反射望远镜）。

1970年代：弗雷德·霍伊尔和昌德拉·威克拉马辛格指出，生命是在太空分子云中进化而成，并乘坐一颗彗星而非陨星来到地球的，从而使胚种广布假说再度流行。

用射电天文方法首次发现我们银河系中的巨分子云，它们是主要由氢分子构成的巨大气体云。这些云含有数百万倍于太阳的质量，提供了形成新恒星的原料。

几位天文学家独立提出，在

太阳表面上观测到的短寿命局部振动可以更好地解释为数百万个小振动合成的结果，这些小振动就是陷在太阳内部并使太阳像钟一样鸣响的声波。

天文学家对太空中的有机分子种类之多和结构之复杂大感惊奇。

1970年代和1980年代：弗雷德·霍伊尔和昌德拉·威克拉马辛格声称，在分子云的辐射中看到的某些特征可以用叫做聚合物的很大的有机分子来解释。他们将这一思想进一步发展，认为早在太阳系形成之前，生命就在星际云中经历了长期的进化。

1971：X射线源天鹅座X－1被证认为恒星HD 226868。由于该源的

1971：美国和欧洲之间开展直拨电话业务。得克萨斯仪器公司的首

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	质量大于奥本海默－弗尔科夫极限，它只可能是一个黑洞。 美国水手 9 号空间探测器进入绕火星的轨道。14 天后苏联火星 2 号探测器与它会合。苏联火星 3 号在火星着陆，但未能发回数据。	批袖珍电子计算器投放市场。
	1972：早期最重要的 γ 射线天文台之一——SASII（小天文卫星 2 号）由美国宇航局发射升空。 拉希德·苏尼亚耶夫和雅可夫·泽尔多维奇预言，背景辐射因受视线方向上富星系团中物质的影响将发生畸变。这就是苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应，它将使背景辐射温度改变大约万分之一。 欧洲卫星特德 1 号升空。它将在紫外波段对天空进行首次普查。 苏联金星 8 号探测器在金星	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	着陆。	
	1973：宣布探测到γ射线‘爆发体’，这是功率极为强大的从出现到再次消失只要几秒钟的γ射线源。γ射线爆发体最早是1960年代发现的，但一直保密到1973年。 史密松天体物理台和哈佛大学天文台合并成为哈佛－史密松天体物理中心。 安放在英澳天文台的联合王国施密特望远镜——一台1.2米的施密特照相机——开始观测。 天空实验室执行首期任务。	**1973**：遗传工程技术得到发展；第一次石油危机造成能源价格上涨。
	1974：弗兰克·狄普勒（在刊于《物理学评论D辑》的一篇论文中）指出有可能建造一种时间机器，其办法是制造一个极高速自转的裸奇点。自转的效果是把时	**1974**：理查德·尼克松迫于水门丑闻而辞职。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	空卷绕起来，将时空翻倒，使得一个空间维度被时间维度取代，于是空间飞船便可以进行似乎是通过普通空间而实际上是通过时间的旅行。 美国水手 10 号空间探测器从水星发回照片。 布兰登·卡特提出需要区分‘弱人择原理’和‘强人择原理’。 罗素·胡尔斯和约瑟夫·泰勒发现第一个脉冲双星。	
	1975：早期最重要的γ射线天文台之一——欧洲科斯 B 卫星由欧洲空间局发射升空。 柯伊伯机载天文台开始运行，它是一个进行红外天文研究的飞行天文台。 美国宇航局发射两枚不载人火星探测器，叫做海盗空间探测	**1975**：最后一批美国军队撤离越南。美国制成第一台个人计算机；它的内存为 256 字节（1/4KB）。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	器，每个探测器由一个轨道舱和一个着陆舱组成。 维拉·鲁宾和她的同事发现，我们的银河系正以500公里每秒的速度相对于远方星系在空间运动。 美国和当时的苏联实行第一次联合空间计划——阿波罗－联盟号对接试验。	**1976**：协和式客机投入运营。
	1977：美国宇航局发射两枚旅行者号空间探测器，用于获取太阳系的外行星照片和其他资料。 布鲁斯·斯蒂芬森和尼古拉斯·桑达利克编撰强发射线星表。 查尔斯·科瓦尔发现半人马星——在土星和天王星轨道之间的一颗超彗星。 布伦特·塔利和理查德·费希尔发现星系射电频谱中氢谱线的宽度和星系的绝对星等之间的关	**1977**：苹果 II 型个人计算机投放市场。

系。通过比较这些量并测量出星系的视星等，就能够算出星系的距离。这个方法现在称为塔利－费希尔方法。

船帆座脉冲星成为第二颗被证认为光学脉冲星的脉冲星。

测量出银河系相对于背景辐射的运动。

1978：詹姆斯·克里斯蒂发现冥王星的一颗卫星——冥王卫一。

美国宇航局发射国际紫外探险者（IUE）卫星，以进行紫外波段的宇宙观测。

约瑟夫·泰勒宣告，第一个脉冲双星的性质准确符合爱因斯坦理论的预言。

美国宇航局发射爱因斯坦卫星。这个轨道X射线天文台具有比早期X射线天文台高得多的分

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	辨率和灵敏度。	
	1979：第一枚日本 X 射线卫星——天鹅号升空。 建立将英国天文学家联系起来的计算机网络——星联网（Starlink）。 爱丁堡皇家天文台管理的联合王国红外望远镜（UKIRT）开始观测。这是一具安装在夏威夷莫纳克亚天文台用于红外天文研究的 3.8 米望远镜。 美国旅行者 1 号空间探测器考察木星及其卫星。 美国旅行者 2 号空间探测器考察木星系统。	
	1970 年代末：莫斯科朗道理论物理研究所的阿列克谢·斯塔罗宾斯基提出第一个暴涨模型，尽管开	

始时不叫做暴涨。可惜，那时苏联科学家仍然很难出国旅行或与苏联势力范围以外的同行通讯，致使这一发现未能传播到苏联以外。艾伦·古斯于 1979 年独立提出类似思想，并给它起名‘暴涨’。

1980 年代：相对论学者试图证明有某条自然定律阻止了虫洞的存在时，却发现无法做到。广义相对论中没有任何东西禁止虫洞的存在。

发展了足以细致分析太阳表面振动的先进技术，才使日震学——通过研究太阳表面运动性质来探索太阳内部结构的方法——的应用成为可能。

首次观测到阿尔伯特·爱因斯坦在 1930 年代预言的一种引力透镜效应——爱因斯坦环。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	美国电话电报公司贝尔实验室的科学家们证认出红移相当于回顾时间20～30亿年的大量矮星系。 卡鲁扎－克莱因理论再次流行，既因为对大统一理论可能性的研究越来越表明存在很多额外维度，也因为弦理论越来越受人重视。弦理论把我们习惯视为点状粒子的实体描述成一维‘弦’的远小于质子的细小片断。弦理论也只在很多维度下才能‘工作’，但它给我们极为丰厚的回报——引力。 暴涨被确立为极早期宇宙的标准模型。	
	1980：甚大天线阵开始运行。 首次提出中微子可能拥有质量。	**1980**：研制成功光学纤维通讯线路。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	证认出类星体周围有模糊斑点，表明它们位于星系的中心。	**1980 年代**：研制成更小、更快、更便宜的计算机。
	1981：斯蒂芬·霍金认为，大爆炸标准模型中出现的奇点——它好像宇宙的时间边界——可能没有意义；它是方程式的产物，而不是实际的边界。这里可用地球做类比。当你抵达北极点，你可以不停止——你可以径直行进而走向南方；同样，如果你能逆着时间走向过去直达‘时间起点’，你将发现你能径直通过它，然后顺着时间走向未来了。 牧夫座方向发现第一个空穴——宇宙中不含任何明亮可见星系的区域。空穴占宇宙体积的98%左右，集中在‘泡沫’外皮上的明亮物质占其余的2%。主张存在暗物质的宇宙模型认为，宇宙	**1981**：推出 IBM 个人计算机。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	的大部分质量可能是在空穴内的暗物质之中，而可见的明亮星系只形成丁重了密度最高的区域。 美国旅行者 1 号探测器考察土星，然后飞出太阳系。 美国旅行者 2 号探测器考察土星和它的环。	
	1982：安得列·林德提出混沌暴涨模型。他认识到不必对膨胀成我们这个宇宙的普朗克大小的时空区做任何特别的规定。如果这个时空区是一切标量场均成立的某个更大时空区的一部分，那么只有标量场能引发暴涨的那些时空区才能导致出现我们自己这样的宇宙。 普林斯顿大学的天文学家用阿雷西博射电望远镜发现第一颗毫秒脉冲星 PSR 1937 + 211。这颗	**1982**：开始使用航天飞机。CD 机问世。

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	脉冲星的周期为1.6毫秒，意味着一颗质量大致和太阳相同、被挤压成一个具有原子核密度的物质球的恒星每秒钟自转600多次。	
	1983：欧洲空间局发射X射线天文卫星埃克索萨特（EXOSAT）。 美国宇航局发射红外天文卫星爱拉斯（IRAS）。	
	1984：艾萨克·牛顿望远镜（INT）从苏塞克斯郡的赫斯特蒙苏迁往加那利群岛的拉帕尔马岛并换了一块新主镜后恢复观测。 苏联发射两枚维佳空间探测器，任务是飞过金星（将两个试探器扔到金星大气中）后，继续飞行以与哈雷彗星会合。	**1984**：苹果公司推出麦金托什（Macintosh）计算机。
	1985：欧洲空间局发射另一枚考察	**1985**：墨西哥城遭地震破坏。

哈雷彗星的探测器——乔托(Giotto)。

基普·桑尼领悟到，用所谓的奇异物质将能保持虫洞开放。这里的关键因素是奇异物质具有反常大的张力，足以克服向内拉的引力而保持虫洞开放。这种奇异物质与人们关于宇宙弦的描述几乎完全相符。所以，如果存在类似宇宙弦的任何东西，而且能被捕获的话，就有可能用它来保持虫洞开放。

1980 年代中期：现在已经清楚，我们整个银河系含有的暗物质多达我们看到的明亮恒星物质的 10 倍。

1980 年代后期：研究表明，我们现在所理解的物理学定律并不禁

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	止真正的时间旅行。	
	1986：乔托探测器紧密接近哈雷彗星，为‘脏雪球’理论的正确性提供了证据。 安得列·林德认为，宇宙可能是一个自我复制的婴儿宇宙系统的一部分。 詹姆斯·克拉克·麦克斯韦望远镜开始运转。 美国旅行者2号探测器考察天王星。 发现‘巨引源’。	**1986**：切尔诺贝利核事故。
	1987：日本X射线天文卫星——银河号升空。 超新星1987A爆发。这是1604年开普勒观察到超新星以来地球上肉眼可见的第一颗超新星。它是大麦哲伦云中一颗距离我们约	

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	160,000光年的恒星爆发而成；它的前身星后来根据老照片证认为叫做桑达利克－69°202的超巨星。 格林尼治皇家天文台管理的威廉·赫歇尔望远镜开始运转。这是一具安装在穆查丘斯罗克天文台的4.2米反射望远镜。 获得行星大小天体绕其他恒星运动的第一个直接证据。	
	1988：莫里斯、桑尼和尤泽佛在《物理学评论通讯》上发表他们关于可能存在连接不同时间的虫洞的结论。	
	1989：日本用于X射线天文的银河号卫星发现当时命名为GS 2023＋338的天体的X射线爆发，激发了对天鹅座V 404的兴趣。天文学家很快认识到，它的X射线爆发太	

强，无法用再发新星中的白矮星来解释，所以X射线一定来自中子星或黑洞。

伽利略探测器发射升空。这是美国宇航局的一枚空间探测器，也是打算进入绕木星轨道的首枚空间探测器。

俄罗斯的石榴号卫星发射升空，用于观测天空的X射线和γ射线。

欧洲空间局发射用于高精度测量恒星方位的伊巴谷卫星。它将以0.002角秒的精度测量超过100,000颗恒星的方位。

美国旅行者2号探测器考察海王星。

1980年代末：日本科学家进行的‘双孔实验’中，使用一支每次发射一个电子的电子枪，将电子一

个一个地射向电子探测器。这项实验证实了电子的波粒二象性。

1990年代：对非球状物体（比如纺锤状体）坍缩过程的计算机模拟表明，它们真有可能形成不隐藏在视界后面的奇点——裸奇点。

全球日震观测网（GONG）在大致均匀分布全球的6个观测站监测太阳的行为，其特定目的是监测太阳振动模式，通过日震学方法探查太阳内部结构。这与地震学家通过研究地震探明我们这颗行星的结构十分相似。

加拿大科学家提出用曲面旋转盘上覆盖薄薄一层水银作为镜面的反射望远镜系统。

天文学家在星际云中发现环形复杂分子的证据。这是对弗雷德·霍伊尔和昌德拉·威克拉马辛

格1970和1980年代提出的颇有争议的主张的第一个独立支持；霍伊尔和威克拉马辛格曾声称，在分子云的辐射中观测到的某些特征可以用叫做聚合物的很大的有机分子来解释。

1990：哈勃空间望远镜发射升空。这是美国宇航局和欧洲空间局联合研制的轨道天文台。

罗萨特卫星（ROSAT）发射升空。这是德国、英国和美国合作研制的用于X射线天文研究的卫星，它首次在波谱的紫外和X射线之间的波段进行了全面的巡天。

美国宇航局为欧洲空间局发射尤利西斯探测器（Ulysses）。尤利西斯将飞出黄道面以观测从地球上看不到的太阳两个极区。

用罗萨特卫星搭载的仪器

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	‘发现’月球是一个 X 射线源。	
	1991：美国宇航局发射康普顿 γ 射线天文台。这是一颗在 γ 射线波段研究宇宙的卫星。	**1991**：苏联解体。
	1992：凯克望远镜落成。这是一具直径 10 米的反射望远镜，被视为用于光学天文研究的威力最大的地面仪器。 科比卫星（Cosmic Background Explorer = COBE）发现背景辐射中的涟漪，其大小与标准大爆炸模型要求的准确一致。这被看成是大爆炸理论的最后胜利。	
	1993：哈勃空间望远镜的缺陷基本上由宇航员排除。 首次观测到我们银河系的暗天体在更遥远恒星前面经过，使	

得更遥远恒星像短暂增亮的引力透镜效应，从而证实我们银河系中致密暗天体（马乔体 = MACHO）的存在。引力透镜可最圆满地解释为一种宇宙放大镜，即一个天体的引力使来自更远天体的光发生弯曲，使得更远天体的像在天文学家看来显得更亮。

1994：在一个星际云中发现了一种氨基酸（甘氨酸），为弗雷德·霍伊尔爵士和昌德拉·威克拉马辛格关于星际云是生命分子诞生地的理论提供了佐证。

美国基特峰国家天文台的天文学家报道首次在一个遥远星系周围发现代表暗晕的黯淡的恒星光辉，证实暗晕确实存在。

物理学家试图重现夸克－胶子等离子体中曾经存在过的条件，

科学家诞生及主要成就	重大科学事件	重大历史事件
	他们用地球上的粒子加速器，通过将大质量原子核撞击在一起的方法，引起了‘小爆炸’事件，毫不含糊地确认产生于这些事件的光子是来自夸克－胶子等离子体，从而证实了大爆炸火球理论。 尤利西斯探测器做出惊人发现——太阳南半球不存在位置确切的磁极。 芝加哥费密实验室证认出夸克族六个成员中的最后一个——顶夸克。 **1995**：洛斯阿拉莫斯实验室的科学家声称测出了中微了的质量大约是5电子伏。	

条 目 检 索

本检索乃为使读者迅速查找中文条目而设，共分三部分。

第一部分是条目标题，按照标题开头为汉字、阿拉伯数字、罗马数字、英文字母和希腊字母的顺序，分组列出全书一千余个条目的标题及条目正文所在页码。其中，以汉字开头的标题按照首字汉语拼音的第一个字母 A、B、C、D……分组，每一组内则按首字笔画数由小到大的顺序排列。笔画数相同时则按汉语拼音顺序。不同首字的标题用空行分隔；首字相同时，再按照第二汉字笔画数等等，依此类推。需要指出，这一部分包含了 8 个正文中频繁引用但却未列为独立条目的名词。为便于读者在读到引用它们的内容时迅速找到有关参考条目，我们在它们后而的括弧中指明了‘见……’。

第二部分是汉字开头条目标题首字检字表，是为不熟悉汉语拼音的读者准备的。这部分共有 396 个汉字，以笔画数分组列表。每个组内按起笔的‘横’、‘竖’、‘撇’、‘点’……顺序横向排列；字数较多的组再按起笔细分。起笔相同者则按照第二画，依此类推。对每个汉字都给出了该字在第一部分汉语拼音分组中的组别、序号和页码。这份检字表要与第一部分的汉语拼音分组表配合使用，但不必通晓汉语拼音的任何知识，只要知道汉字笔画就行了。例如，要查找‘天’字开头的条目，可先在四画的表中查出‘天’字。‘天’字后面括弧中的‘T3’说明它是第一部分汉语拼音分组中的‘T’组第三字。根据右边的页码 614 即可在该页查到‘天’字开头的全部 26 个条目的正文所在的页码。

第三部分是一份外文－中文名词对照表，它列出了本书涉及的一些通用外文（绝大多数是英文）缩写词、专有名称和以英文字母开头后接汉字的术语。对每个这样的词除给出中译名外，还标出本书提及该词或对其做出解释的条目所在页码，其中绝大多数本身就是条目标题。这些名词在本中译本中有时按国际惯例以外文出现，所以这份中外文对照表有助于在遇到这类外文名词而又一时想不起中文名或其含义时迅速找到答案。

第一部分 条目标题

汉字开头的条目

A：艾安阿埃爱氨奥矮暗澳

艾特金生，罗伯特·德斯科 …… 19
艾萨克·牛顿望远镜（INT） … 225

安那克萨哥拉（克拉佐曼纳人）…
…………………………………… 6

阿尔菲，拉尔夫·艾舍尔………… 5
阿尔普，哈尔顿·克里斯琴 …… 13
阿伦尼亚斯，斯凡特·奥古斯特 …
…………………………………… 14
阿那克西曼德（米利都人） …… 7
阿利斯塔克（萨摩斯人）……… 13
阿姆巴楚米扬，维克多·阿马扎
斯坡维奇 ……………………… 6
阿波罗小行星群……………… 12
阿雷西博射电望远镜………… 13

埃 ……………………………… 8
埃克索萨特［卫星］ ………… 133
埃费斯伯格望远镜 ………… 120

爱丁顿，亚瑟·斯坦利爵士…… 118
爱丁顿极限 ………………… 120
爱丁堡皇家天文台（ROE） … 363
爱因斯坦，阿尔伯特 ……… 120
爱因斯坦十字 ……………… 122
爱因斯坦卫星（爱因斯坦天
文台） ……………………… 122
爱因斯坦环 ………………… 122
爱因斯坦－罗森桥 ………… 122
爱因斯坦－德西特宇宙 …… 122
爱里，乔治·比德尔爵士……… 4
爱拉斯［卫星］ …………… 225
爱拉斯星系 ………………… 225

氨基酸 ………………………… 6

奥本海默，（儒略）·罗伯特 … 310
奥本海默－弗尔科夫极限 …… 311
奥尔特，詹·亨德里克………… 309
奥尔特云 …………………… 309
奥米伽点 …………………… 309
奥伯斯，海因里希·威廉·马塔
乌斯 ………………………… 303
奥伯斯佯谬 ………………… 304
奥格勒［实验］ …………… 303

奥康姆剃刀 …………………… 303

矮行星 ………………………… 114
矮星 …………………………… 114
矮星系 ………………………… 113
矮新星 ………………………… 113

暗夜天 ………………………… 98
暗物质 ………………………… 93
暗星云 ………………………… 98

澳大利亚望远镜 ……………… 20

B：八巴贝比不白半北本布百邦毕闭冰伯变波背标柏玻棒博暴爆

八木天线 …………………… 449

巴纳德星 ……………………… 27
巴林格陨星坑 ………………… 27
巴科，约翰 …………………… 27
巴德，瓦尔特 ………………… 21
巴黎天文台 ………………… 315

贝尔-伯内耳，乔丝琳 ……… 33
贝特，汉斯·亚布勒希特 …… 36

比尔城堡 ……………………… 46

不规则星系 ………………… 225
不相容原理 ………………… 133
不接系统（不接双星） …… 107

白洞 ………………………… 438
白矮星 ……………………… 437

半人马星 ……………………… 69
半人马座 A …………………… 63
半人马座 X-3 ………………… 64
半人马座 α …………………… 5
半人马座 β …………………… 35
半人马座比邻星 …………… 332
半衰期 ……………………… 185
半接双星 …………………… 374
半接系统 …………………… 374

北京天文台 …………………… 33

本地静止标准（LSR） …… 247
本轮 ………………………… 128
本星系群 …………………… 247
本超星系团 ………………… 248

布里斯，纳撒尼尔 …………… 51
布拉赫，第谷 ………………… 55
布拉德雷，詹姆斯 …………… 55
布莱扎 ………………………… 51
布鲁诺，乔丹诺 ……………… 56

百万秒差距（Mpc） ……… 268

邦迪，赫尔曼爵士 …………… 54

毕达哥拉斯 ………………… 337

毕达哥拉斯定理 …………………… 338

闭宇宙 ………………………………… 71

冰矮天体 …………………………… 212

伯比奇，杰弗利和伯比奇，玛格丽特 ………………………………… 56

伯内耳，乔丝琳 ………………………… 57

变星 ………………………………… 430

波长 ………………………………… 435

波动力学 …………………………… 435

波函数 ……………………………… 435

波格森标度 ………………………… 328

波得，约翰尼斯·埃勒特 ………… 52

波得定则 …………………………… 52

波谱 ………………………………… 391

波谱学 ……………………………… 389

背景辐射 …………………………… 23

标准宇宙模型 ……………………… 393

标量场 ……………………………… 369

柏拉图 ……………………………… 327

玻色子 ……………………………… 54

玻勒克辛诺［实验］ ……………… 54

棒旋星系 …………………………… 27

博克，巴特 ………………………… 53

博克球状体 ………………………… 53

暴涨 ………………………………… 214

爆发体 ……………………………… 57

C：长刍场冲虫创赤参昌测晨船超磁潮

长度收缩 …………………………… 242

刍藁增二 …………………………… 277

场方程式/场论 …………………… 136

冲 …………………………………… 311

虫洞 ………………………………… 442

创造场 ……………………………… 65

赤纬 ………………………………… 99

赤经 ………………………………… 360

参与宇宙 …………………………… 316

参考系 ……………………………… 142

昌德拉塞卡，萨布拉曼扬 ……… 66

昌德拉塞卡极限 ………………… 68

测不准原理 ……………………… 428

晨星 …………………………… 281

船帆座脉冲星 ………………… 430

超巨星 ………………………… 407
超引力 ………………………… 407
超对称性（SUSY） …………… 413
超弦理论 ……………………… 413
超星系团 ……………………… 407
超新星 ………………………… 407
超新星 1987A ………………… 407
超新星遗迹（SNR） ………… 412
超紫外天文［学］ …………… 448

磁场 …………………………… 261

潮汐力 ………………………… 419

D：大电对氘地动多狄单度笛第氮道等蒂短德戴

大尺度结构 …………………… 240
大宇宙 ………………………… 87
大麦云 ………………………… 247
大麦云 X－3 ………………… 247
大麦哲伦云 …………………… 240
大统一理论（GUTs） ………… 170
大崩塌 ………………………… 42
大陵五 ………………………… 4
大爆炸 ………………………… 37
大爆炸核合成 ………………… 42

电力 …………………………… 122
电子 …………………………… 123
电子伏（eV） ………………… 123
电荷 …………………………… 69
电荷耦合器件（CCD） ……… 69
电离 …………………………… 225
电离氢区 ……………………… 183
电磁力（电磁相互作用） …… 122
电磁波谱 ……………………… 123
电磁辐射 ……………………… 122

对流 …………………………… 76

氘 ……………………………… 107
氘核 …………………………… 107

地外生命 ……………………… 134
地外生物学 …………………… 133
地球 …………………………… 116
地球平凡原理 ………………… 330
地球同步轨道 ………………… 165

动能 …………………………… 238

多普勒，克里斯琴·约翰 …… 111
多普勒效应 …………………… 111
多镜面望远镜（MMT） ……… 282

狄克，罗伯特·亨利 ………… 108

单极子 ………………………… 279
单极子宇宙 …………………… 279

度规 …………………………… 270

笛卡儿，勒内 ………………… 103

第五种力 ……………………… 137
第谷 …………………………… 426

氮 ……………………………… 296

道耳顿 ………………………… 93

等级式宇宙模型 ……………… 200
等势面 ………………………… 128
等离子体 ……………………… 327
等效原理 ……………………… 129

蒂杰斯，伦纳德和蒂杰斯，托马斯 ……………………… 109

短缺质量 ……………………… 278
短程线 ………………………… 165

德文格洛 1 …………………… 114
德伏古勒，吉拉德·亨利 ……… 107
德西特，威廉 ………………… 105
德西特宇宙 …………………… 107
德西特膨胀 …………………… 107
德国－西班牙天文中心 ……… 166
德拉伯，亨利 ………………… 113
德拉克，弗兰克·唐纳德 ……… 112
德拉克公式 …………………… 112
德谟克利特（阿布德拉人） … 101
德谢梭，让－菲利普·罗伊 …… 99

戴维斯（小），雷 …………… 98
戴维斯实验 …………………… 99
戴森，弗兰克·沃森爵士 ……… 114
戴森，弗里曼·约翰 …………… 115
戴森球 ………………………… 115

E：二厄恩

二分点 ………………………… 128
二次量子化 …………………… 374

厄拉多塞（昔兰尼人） ……… 130
厄罗斯［计划］ ……………… 130
厄谢尔，詹姆斯大主教 ……… 429

恩培多克勒 …………………… 127

F：反分夫发弗伏放非费复菲傅福辐

反冲 …………………………… 55
反物质 ………………………… 10
反射星云 ……………………… 356
反射望远镜 …………………… 356
反粒子 ………………………… 11
反照率 ………………………… 4

分子 …………………………… 279

分子云 …… 278
分光双星 …… 388
分点岁差 …… 329
分辨本领 …… 358
分辨率 …… 357

夫琅和费，约瑟夫·冯 …… 142
夫琅和费线 …… 142

发射线 …… 127
发射星云 …… 127

弗兰斯提德，约翰 …… 139
弗里德曼，亚力山大·亚力山德洛维奇 …… 144
弗里德曼宇宙模型 …… 145
弗雷德·惠普尔天文台 …… 142

伏古勒，吉拉德·德 …… 430

放射衰变 …… 348

非欧几何［学］ …… 296

费伯－杰克逊关系 …… 135
费希尔－塔利关系 …… 137
费密，恩里科 …… 135
费密子 …… 135
费密佯谬 …… 136

复合 …… 352
复合时代 …… 352

菲茨杰拉德，乔治·弗兰西斯 …… 138
菲茨杰拉德收缩 …… 138

傅科摆 …… 140

福勒，威廉·阿尔弗雷德 …… 140

辐射 …… 348
辐射压 …… 348
辐射时代 …… 348

G：干广戈甘古各共光轨伽规国高哥格惯

干涉测量 …… 220

广义相对论 …… 162

戈德，托马斯 …… 169
戈德尔，库尔特 …… 169

甘氨酸 …… 169

古尔德带 …… 169
古姆星云 …… 181
古斯，艾伦·哈维 …… 181

各向同性 …… 226

共生星 …… 413

光 …… 245

光子 …… 323
光分 …… 246
光电效应 …… 322
光年 …… 247
光行时间 …… 246
光行差 …… 1
光变曲线 …… 246
光线弯曲 …… 35
光线偏折 …… 100
光学天文［学］ …… 311
光学脉冲星 …… 312
光度 …… 251
光度函数 …… 251
光秒 …… 246
光锥 …… 245
光谱（见波谱）
光谱学（见波谱学）

轨道 …… 312

伽利略（伽利雷，伽利略） … 156
伽利略探测器 …… 156
伽利略望远镜 …… 156
伽莫夫，乔治 …… 159
伽勒克斯［实验］ …… 158

规范理论 …… 161

国际太阳黑子数 …… 221
国际原子时（IAT） …… 221
国际紫外探险者（IUE） …… 221
国家射电天文台（NRAO） …… 284

高能天体物理台（HEAO） …… 201
高斯，卡尔·弗里德里希 …… 162

哥白尼，尼古拉 …… 76
哥白尼体系 …… 76
哥达德航天中心（GSFC） …… 169

格林尼治平时（GMT） …… 180
格林尼治皇家天文台（RGO） …… 362
格林班克望远镜 …… 180
格林斯坦，杰西·伦纳德 …… 180
格雷厄姆－史密斯，弗兰西斯 …… 170
格雷果里历 …… 180
格雷果里望远镜 …… 181

惯性 …… 212
惯性系 …… 213
惯性质量 …… 213

H：火汉亥合红后回亨环昏哈恒胡皇活海氦核毫黄彗混黑惠赫褐横蝴霍

火卫一 …… 321
火卫二 …… 101
火星 …… 263

汉伯利－布朗，罗伯特 …… 188

亥姆霍兹，赫尔曼·路德维格·费迪南·冯 …… 194

合 …………………………………… 75

红化 ……………………………… 352
红巨星 …………………………… 353
红外天文卫星 …………………… 219
红外天文［学］ ………………… 219
红外卷云 ………………………… 219
红外背景 ………………………… 219
红外望远镜设备 ………………… 220
红外辐射 ………………………… 219
红移 ……………………………… 353
红移巡天 ………………………… 355
红矮星 …………………………… 352

后发座星系团 …………………… 73

回顾时间 ………………………… 249

亨利·德拉伯星表 ……………… 194
亨耶迹程 ………………………… 194

环形山 …………………………… 91

昏星 ……………………………… 133

哈马逊，米尔顿·拉塞尔 ……… 209
哈佛大学天文台 ………………… 188
哈佛－史密松天体物理中
　心（CfA） …………………… 188
哈勃，埃德温·鲍威尔 ………… 205
哈勃半径 ………………………… 208
哈勃年龄 ………………………… 208
哈勃定律 ………………………… 208
哈勃空间望远镜（HST） ……… 208
哈勃图 …………………………… 208
哈勃常数 ………………………… 206
哈雷，埃德蒙 …………………… 185
哈雷彗星 ………………………… 187

恒星 ……………………………… 138
恒星 ……………………………… 394
恒星风 …………………………… 401
恒星生活史 ……………………… 242
恒星光谱分类 …………………… 388
恒星时 …………………………… 376
恒星形成 ………………………… 393
恒星直径 ………………………… 397
恒星质量 ………………………… 400
恒星核合成 ……………………… 401
恒星能源 ………………………… 397
恒星温度 ………………………… 401
恒星演化 ………………………… 397

胡尔斯，罗素·艾伦 …………… 208
胡克望远镜 ……………………… 201

皇家天文官 ……………………… 19

活动星系 ………………………… 2
活动星系核 ……………………… 4

海王卫一 ………………………… 424
海王卫二 ………………………… 285
海王星 …………………………… 285

海尔，乔治·埃勒里 …………… 184
海尔天文台 …………………… 185
海尔望远镜 …………………… 185
海伊，詹姆斯·斯坦利 ………… 200
海因兹汤参数 ………………… 191
海盗空间探测器 ……………… 433
海森伯，魏纳·卡尔 …………… 191
海斯塔克天文台 ……………… 190

氦 ……………………………… 193
氦闪 …………………………… 193
氦燃烧 ………………………… 193

核 ……………………………… 302
核子 …………………………… 299
核合成 ………………………… 299
核相互作用 …………………… 299
核裂变 ………………………… 298
核聚变 ………………………… 299

毫米波天文［学］ …………… 273
毫秒脉冲星 …………………… 274

黄道 …………………………… 118
黄道带 ………………………… 451

彗星 …………………………… 73

混合暗物质 …………………… 278
混沌 …………………………… 68

黑体辐射 ……………………… 46
黑洞 …………………………… 46
黑矮星 ………………………… 46
黑寡妇脉冲星 ………………… 51

惠更斯，克里斯蒂昂 ………… 209
惠勒，约翰·阿希巴德 ………… 435
惠普尔，弗雷德·劳伦斯 ……… 436
惠普尔天文台 ………………… 436

赫比格－阿罗天体 …………… 195
赫尔曼，罗伯特 ……………… 195
赫拉克利德斯（蓬杜斯人） … 194
赫－罗图 ……………………… 197
赫茨普隆，埃希纳 …………… 196
赫［兹］ ……………………… 196
赫歇尔家族 …………………… 195
赫歇尔望远镜 ………………… 196

褐矮星 ………………………… 56

横向速度 ……………………… 424

蝴蝶图 ………………………… 57

霍伊尔，弗雷德爵士 ………… 202
霍金，斯蒂芬·威廉 …………… 188
霍金辐射 ……………………… 189
霍姆斯泰克金矿 ……………… 201
霍普金斯山天文台 …………… 281

J：介巨加极角近均季杰金弪经绝贾胶较紧基减距焦简解静聚激鲸

介子 ………………………… 268

巨分子云 ………………………… 166
巨引源 ………………………… 179
巨行星 ………………………… 167
巨星 ………………………… 167
巨型米波射电望远镜（GMRT） ……………………………… 166
巨壁 ………………………… 180

加拿大－法国－夏威夷望远镜……………………………… 58

极早期宇宙 ………………………… 432
极紫外探险者（EUVE） ……… 134

角分………………………… 12
角秒………………………… 13

近日点 ………………………… 321
近日点进动 ………………………… 3

均匀性 ………………………… 201

季节 ………………………… 372

杰敏卡 γ 射线源 ………………… 162

金牛座 A ………………………… 415
金牛座 T 型星 ………………… 424
金牛座 X－1 ………………… 416
金发姑娘现象 ………………… 169
金星 ………………………… 431
金属 ………………………… 268
金属性 ………………………… 268
金斯，詹姆斯·哈普伍德 ……… 227
金斯判据 ………………………… 228

弪 ………………………… 348

经典力学………………………… 70
经典物理［学］ ………………… 71

绝对星等 ………………………… 1
绝对零度 ………………………… 1

贾可尼，里卡多 ……………… 166

胶子 ………………………… 168

较差自转 ………………………… 109

紧致化………………………… 75

基本力 ………………………… 145
基本相互作用（见基本力）
基本粒子 ………………………… 123

减速因子………………………… 99

距离 …… 111

焦德雷班克 …… 230

简并物质 …… 100
简并星 …… 101

解耦时期 …… 99

静止质量 …… 358

聚变 …… 148
聚星（多重星） …… 283

激变变星 …… 62

鲸鱼座 ZZ 型变星 …… 453

K：开孔卡夸坎克快凯空科柯康

开氏三度辐射 …… 419
开氏［温度标］ …… 235
开尔文（拉格斯的开尔文男爵）…… 233
开尔文－亥姆霍兹时标 …… 235
开宇宙 …… 310
开普勒，约翰尼斯 …… 235
开普勒定律 …… 236
开普勒望远镜 …… 236

孔径（口径） …… 11

卡尔·史瓦西天文台 …… 232
卡西尼，乔万尼·多明尼哥 …… 61
卡梅隆，埃莱斯泰·格雷厄姆·瓦尔特 …… 58
卡鲁扎－克莱因模型 …… 232
卡塞格伦 …… 61
卡塞格伦望远镜 …… 61

夸克 …… 344
夸克时代 …… 345
夸克－胶子等离子体 …… 345
夸克－强子相变 …… 345
夸胶体 …… 339

坎农，安妮·詹普 …… 58

克尔，罗伊·帕特里克 …… 237
克尔－纽曼解 …… 237
克尔黑洞 …… 237
克尔解 …… 237
克里斯蒂，威廉·亨利·马霍尼爵士 …… 70
克利福德，威廉·金顿 …… 71
克拉克，亚瑟 …… 70

快子 …… 415

凯克望远镜 …… 232

空穴 …… 434
空间 …… 386
空间天文台 …… 386

空间旅行 …………………………… 387
空间探测器 ………………………… 386

科比［卫星］ ……………………… 72
科里奥利力 ………………………… 78
科学记数法 ………………………… 372
科斯 B［卫星］ …………………… 78

柯伊伯，吉拉德·彼得 …………… 238
柯伊伯机载天文台（KAO） … 238
柯伊伯带 …………………………… 238

康普顿 γ 射线天文台 …………… 75
康德，伊曼努埃尔 ……………… 232

L：冷里利连拉林罗类临洛朗离莉流旅勒粒猎联链量裂赖蓝雷零裸黎

冷暗物质（CDM） ……………… 72

里斯，马丁·约翰爵士 ………… 355

利克天文台 ………………………… 242

连续创造论 ………………………… 76

拉坦 600［射电望远镜］ ……… 352
拉格朗日，约瑟夫·路易 ……… 239
拉格朗日点 ………………………… 239
拉普拉斯，皮埃尔·西蒙侯爵，德 …………………………… 239
拉斯·康帕纳斯山天文台 ……… 241

林忠四郎 …………………………… 190
林忠四郎迹程 ……………………… 190
林德，安得列·德米特里维奇 …………………………………… 247

罗伯森－沃克度规 ……………… 360
罗素，亨利·诺利斯 …………… 363
罗萨特［卫星］ ………………… 361
罗斯，威廉·帕森斯（罗斯伯爵第三） ……………………… 361
罗默，奥利 ……………………… 360

类木行星 …………………………… 230
类地行星 …………………………… 418
类星体 ……………………………… 346

临界密度 …………………………… 91

洛韦尔，珀西瓦 ………………… 250
洛韦尔天文台 ……………………… 250
洛弗尔，伯纳德爵士 …………… 250
洛弗尔望远镜 ……………………… 250
洛伦兹变换公式 ………………… 250
洛伦兹－菲茨杰拉德收缩 …… 250
洛伦兹，亨德里克·安东 ……… 249
洛希，爱德华·阿尔贝 ………… 360
洛希瓣 ……………………………… 360
洛希极限 …………………………… 360
洛基尔，诺曼 …………………… 248

朗道，列夫·达威多维奇 ……… 239

离心力 …… 64
离子 …… 225

莉维特，亨丽爱塔·斯琬 …… 241

流星 …… 268
流星体 …… 269

旅行者空间探测器 …… 434

勒威耶，于尔班·让·约瑟夫 …… 242
勒梅特，乔治斯·爱德华 …… 241

粒子 …… 316

猎户座分子云 …… 312
猎户座星云 …… 312

联合王国红外望远镜（UKIRT） …… 427
联合王国施密特望远镜 …… 427

链式反应 …… 66

量子 …… 339
量子力学 …… 339
量子引力论 …… 339
量子电动力学（QED） …… 339
量子场论 …… 339
量子色动力学（QCD） …… 339
量子物理［学］ …… 339
量子涨落 …… 339
量子理论 …… 339
量子跳变 …… 339

裂变和聚变 …… 137

赖尔，马丁爵士 …… 364
赖尔望远镜 …… 364
赖特，托马斯 …… 443
赖曼 α 云 …… 252
赖曼 α 线 …… 253
赖曼 α 森林 …… 252
赖曼系 …… 253
赖斯纳－诺德斯特罗姆解 …… 356

蓝离散星 …… 52
蓝移 …… 52
蓝暖 …… 52

雷达天文［学］ …… 348
雷伯，格罗特 …… 352

零引力 …… 451
零龄主序（ZAMS） …… 451

裸奇点 …… 284

黎曼，伯恩哈德 …… 358

M：马木目迈米麦免闵脉美秒冥莫梅密冕蒙模墨穆

马乔计划 …… 256
马乔体 …… 257

马克苏托夫，德米特里·德米特里耶维奇 …………………… 262
马克苏托夫望远镜 …………… 262
马克斯－普朗克天文研究所 … 266
马克斯－普朗克射电天文研究所……………………………… 266
马拉德射电天文台(MRAO) …… 282
马姆奎斯特效应 ……………… 262
马斯基林，内维尔 …………… 264
马赫，恩斯特 ………………… 254
马赫原理 ……………………… 257

木卫一 ………………………… 225
木卫二 ………………………… 132
木卫三 ………………………… 161
木卫四 ………………………… 58
木星 …………………………… 231

目视双星 ……………………… 434
目视星等（V）……………… 434

迈克耳孙,阿尔伯特·亚伯拉罕 … 272
迈克耳孙－莫雷实验 ………… 272

米 ……………………………… 269
米切尔，约翰 ………………… 270
米切尔，玛丽亚 ……………… 278
米尔恩，爱德华·亚瑟 ……… 274
米尔斯十字 …………………… 274
米兰科维奇，米留廷 ………… 273
米兰科维奇理论（米兰科维奇模型） ……………………… 273
米粒组织 ……………………… 173

麦克雷，威廉·亨特爵士 ……… 255
麦克斯韦，詹姆斯·克拉克 …… 266
麦哲伦云 ……………………… 261

免费午餐宇宙 ………………… 143

闵可夫斯基，赫尔曼 ………… 275
闵可夫斯基图 ………………… 276

脉冲双星 ……………………… 42
脉冲星 ………………………… 333
脉动宇宙 ……………………… 336
脉动变星（脉动星） ………… 336
脉泽 …………………………… 263

美国宇航局 …………………… 284

秒 ……………………………… 373
秒差距 ………………………… 316

冥王卫一 ……………………… 69
冥王星 ………………………… 327

莫龙洛射电天文台 …………… 279
莫纳克亚天文台 ……………… 265
莫雷，爱德华·威廉斯 ……… 281

梅尔林干涉网 ………………… 268
梅西叶，夏尔 ………………… 268
梅西叶星云星团表 …………… 268
梅菲星系 ……………………… 260

密度 …… 101
密度波模型 …… 102
密度参数 …… 101

冕 …… 78

蒙德，爱德华·瓦尔特 …… 265
蒙德极小期 …… 265

模型 …… 278

墨冬天文台 …… 270

穆查丘斯罗克天文台 …… 361

N：牛年纳逆能诺

牛顿，艾萨克 …… 292
牛顿（N） …… 294
牛顿力学 …… 294
牛顿引力定律 …… 295
牛顿运动定律 …… 295
牛顿望远镜 …… 294

年 …… 449

纳菲尔德射电天文实验室 …… 302
纳米 …… 284

逆β衰变 …… 224

能量 …… 127

诺维科夫，伊戈尔·德米特里耶维奇 …… 298

O：欧

欧几里得 …… 131
欧几里得几何［学］ …… 131
欧皮克－奥尔特云 …… 310
欧洲空间局（ESA） …… 133
欧洲南方天文台（ESO） …… 132

P：皮平帕庞泡佩胚盘喷彭普频膨

皮布尔斯，（菲利普·）詹姆斯·埃德温 …… 317
皮克林，爱德华·查尔斯 …… 323

平方反比律 …… 225
平均物质密度 …… 267
平［坦］性问题 …… 140
平［坦］性参数 …… 140

帕凯斯天文台 …… 316
帕洛马山天文台 …… 281
帕洛马天文台 …… 314
帕洛马巡天 …… 314

庞特，约翰 …………………… 328

泡利，沃尔夫冈 ……………… 316
泡利不相容原理 ……………… 316

佩恩－盖珀什金·塞西莉亚·海
　伦娜 ………………………… 317

胚种广布假说 ………………… 314

盘状星系 ……………………… 110

喷气推进实验室（JPL） ……… 230
喷流 …………………………… 228

彭齐亚斯，阿尔诺·艾伦 ……… 320
彭洛斯，罗杰 ………………… 318
彭洛斯图 ……………………… 320

普朗克，马克斯·恩斯特·卡
　尔·路德维格 ……………… 324
普朗克长度 …………………… 324
普朗克时代 …………………… 324
普朗克时间 …………………… 324
普朗克质量 …………………… 324
普朗克常数 …………………… 324
普朗克粒子 …………………… 324
普朗克密度 …………………… 324

频率 …………………………… 143
频谱（见波谱）
频谱学（见波谱学）

膨胀宇宙 ……………………… 134

Q：千切乔全奇氢轻羟球强琼

千秒差距（kpc） …………… 238

切伦科夫辐射 ………………… 65

乔托行星际探测器 …………… 167

全球日震观测网 ……………… 167

奇点 …………………………… 376

氢 ……………………………… 211

轻子 …………………………… 242

羟基 …………………………… 211

球状星团 ……………………… 167

强力（见强核相互作用）
强子 …………………………… 183
强子时代 ……………………… 184
强核相互作用 ………………… 401

琼斯，哈罗德·斯潘塞爵士 …… 230

R：人日热弱儒

人马座 A ························ 365
人马座 B ························ 365
人择原理 ························ 8
人造卫星 ························ 368

日食 ························ 381
日震学 ························ 191

热力学第二定律 ························ 373
热大爆炸 ························ 202
热光度 ························ 54
热暗物质（HDM） ························ 202

弱力 ························ 435
弱电相互作用 ························ 123
弱核相互作用 ························ 435

儒略历 ························ 230
儒略日（JD） ························ 231

S：十三什双水闪失石史矢世色守沙时苏参视势神甚施食室桑射衰朔速萨铯深疏斯塞摄赛隧

十亿 ························ 42

三 α 过程 ························ 424
三角视差 ························ 424

什克洛夫斯基，约瑟夫·萨姆伊洛维奇 ························ 376

双重星 ························ 112
双星 ························ 45
双星系统 ························ 46

水手探测器 ························ 263
水平支 ························ 201
水星 ························ 268
水星进动 ························ 329

闪烁 ························ 372

失重 ························ 435

石榴号卫星 ························ 170

史瓦西，马丁 ························ 371
史瓦西，卡尔 ························ 370
史瓦西半径 ························ 371
史瓦西度规 ························ 371
史瓦西极限 ························ 371
史瓦西黑洞 ························ 371
史瓦西解 ························ 372
史密松天体物理台 ························ 378
史密斯，弗兰西斯·格雷厄姆爵士 ························ 378

矢量场 ························ 430

世界末日小行星 …………………… 111
世界时（UT） …………………… 428
世界线 …………………………… 441
世界模型 ………………………… 442

色指数 ……………………………… 73
色球 ………………………………… 70

守护卫星 ………………………… 376

沙普利，哈罗 …………………… 376

时间 ……………………………… 420
时间之箭 ………………………… 14
时间涟漪 ………………………… 360
时间旅行 ………………………… 420
时间膨胀 ………………………… 420
时空 ……………………………… 387
时空曲率 ………………………… 91
时空间隔 ………………………… 387
时空图 …………………………… 387

苏尼亚耶夫－泽尔多维奇效应……
………………………………… 406
苏黎世太阳黑子相对数 ……… 451

参宿四 …………………………… 36

视向速度 ………………………… 348
视界 ……………………………… 133
视界问题 ………………………… 201
视星等 …………………………… 12
视差 ……………………………… 314

视超光速源 ……………………… 407

势能 ……………………………… 329

神冈中微子探测实验 ………… 232

甚大［天线］阵（VLA） …… 432
甚大望远镜（VLT） ………… 432
甚长基线干涉测量（VLBI） … 432
甚长基线［天线］阵（VLBA） …
………………………………… 432

施密特，马登 ………………… 370
施密特，伯恩哈德·伏尔德马 ……
………………………………… 370
施密特照相机 ………………… 370

食 ………………………………… 118
食双星 …………………………… 118

室女座 A ………………………… 433
室女座 W 型星 ………………… 443
室女座星系团 ………………… 434

桑尼，基普 …………………… 418
桑达利克－69°202 …………… 368
桑德奇，艾伦·雷克斯 ……… 367

射电天文［学］ ……………… 349
射电波 …………………………… 351
射电星系 ………………………… 351
射电望远镜 ……………………… 351
射电源 …………………………… 351

射星 ………………………… 376

衰变 ………………………… 99

朔望 ………………………… 414

速度 ………………………… 430

萨尔皮特，埃德温 ………… 367
萨尔皮特过程 ……………… 367
萨奇［实验］ ……………… 365
萨哈罗夫，安得列·德米特里
　耶维奇 …………………… 365

铯钟 ………………………… 58

深空探测网 ………………… 100

疏散星团 …………………… 310

斯里弗，维斯托·梅尔文 …… 377
斯玻勒，古斯塔夫·弗里德里
　希·威廉 …………………… 392
斯特罗姆洛山及赛丁泉天文台……
　………………………………… 281
斯基帕雷利，乔万尼·维吉尼奥 …
　………………………………… 369

塞提［计划］ ……………… 374

摄尔西乌斯，安德斯 ……… 63
摄氏［温度标］（见摄尔西乌斯）

赛丁泉天文台 ……………… 376
赛弗特星系 ………………… 374

隧道效应 …………………… 425

T：土太天汤同托坍吞逃统泰特通透探塔提椭碳

土卫一 ……………………… 275
土卫五 ……………………… 358
土卫六 ……………………… 423
土卫七 ……………………… 211
土卫八 ……………………… 212
土星 ………………………… 368

太阳 ………………………… 402
太阳风 ……………………… 386
太阳日 ……………………… 381
太阳中微子问题 …………… 381
太阳半径 …………………… 385
太阳光度 …………………… 381
太阳时 ……………………… 386
太阳系 ……………………… 386
太阳单位 …………………… 386
太阳和太阳系的年龄 ……… 3
太阳质量 …………………… 381
太阳活动周 ………………… 379
太阳振动 …………………… 385
太阳常数 …………………… 378
太阳黑子 …………………… 405
太阳黑子相对数 …………… 357
太阳黑子群数 ……………… 181
太阳黑子数 ………………… 406

太阳耀斑 …………………… 381
太空尘 …………………… 113

天王卫二 …………………… 428
天王卫三 …………………… 423
天王卫四 …………………… 303
天王卫五 …………………… 278
天王星 …………………… 429
天文单位（AU） …………………… 19
天文距离尺度 …………………… 19
天赤道 …………………… 63
天体表 …………………… 63
天体物理［学］ …………………… 19
天体演化学 …………………… 84
天河 …………………… 273
天线 …………………… 8
天狼 B …………………… 377
天狼［星］ …………………… 377
天鹅号卫星 …………………… 184
天鹅座 61 …………………… 92
天鹅座 A …………………… 92
天鹅座 V404 …………………… 432
天鹅座 X－1 …………………… 92
天鹅座 X－3 …………………… 92
天琴座 RR 型星 …………………… 363
天琴座 β 型变星 …………………… 35
天然卫星 …………………… 368
天箭座 WZ …………………… 443
天蝎座 X－1 …………………… 372

汤姆孙，威廉 …………………… 418
汤斯，查尔斯-哈德 …………………… 423

同步加速辐射 …………………… 414
同位素 …………………… 226

托洛洛山美洲天文台 …………………… 65
托勒密 …………………… 332
托勒密体系 …………………… 332

坍缩星 …………………… 73

吞食 …………………… 58

逃逸速度 …………………… 130

统一理论 …………………… 428
统计视差 …………………… 396

泰勒（小）约瑟夫·胡顿 …………………… 416
泰勒斯（米利都人） …………………… 418

特设天体物理台 …………………… 387
特洛伊群小行星 …………………… 424
特德 1 号［卫星］ …………………… 416

通古斯事件 …………………… 425

透镜状星系 …………………… 242
透镜星系 …………………… 242

探测号飞行器 …………………… 451

塔利－费希尔方法 …………………… 424

塔曼，古斯塔夫 …………………… 415

提丢斯，约翰·丹尼尔 ………… 423
提丢斯－波得定则 …………… 423

椭圆星系 ………………………… 126

碳 ……………………………………… 60
碳水化合物……………………… 60
碳氢化合物 …………………… 211
碳星 ………………………………… 61
碳氮氧循环……………………… 72
碳循环（CNO 循环）…………… 60

W：万卫韦乌无伍完沃武威涡望维温微稳

万有引力 ……………………… 174
万物之理 ……………………… 418

卫星 ……………………………… 281

韦斯特博克射电天文台 ……… 435

乌呼鲁［卫星］ ……………… 427

无边界条件 …………………… 296

伍利，理查德·范德里特爵士 ……
……………………………………… 441

完全宇宙学原理 ……………… 321

沃尔夫，马克西米连·弗兰茨·约瑟夫 …………………… 440
沃尔夫，（约翰·）鲁道夫 …… 440
沃尔夫数（沃尔夫太阳黑子数）…
……………………………………… 441
沃尔芬代尔，阿诺德·惠泰克 ……
……………………………………… 440

武仙座 X－1 ………………… 195

威尔金森，大卫 ……………… 439
威尔逊，罗伯特·伍德罗 ……… 439
威尔逊山天文台 ……………… 281
威廉·赫歇尔望远镜 …………… 439

涡状星系 ……………………… 437

望远镜 ………………………… 416

维佳空间探测器 ……………… 430
维恩定律 ……………………… 438

温度 …………………………… 417
温室效应 ……………………… 180
温普粒子 ……………………… 440

微波 …………………………… 273
微波背景辐射 ………………… 273
微陨星 ………………………… 272
微黑洞 ………………………… 275

稳定性谷 ……………………… 430

稳恒态假说 …………………… 396

X：小仙吸先向行休弦狭相星旋新像蝎蟹

小行星 …………………… 19
小行星 …………………… 276
小麦云 …………………… 377
小麦哲伦云 …………………… 377

仙女座Z型星 …………………… 450
仙女座星系 …………………… 7
仙后座A …………………… 62

吸收线 …………………… 1
吸收星云 …………………… 1
吸积 …………………… 1
吸积盘 …………………… 2

先驱者空间探测器 …………………… 323

向心力 …………………… 64

行星 …………………… 325
行星际尘埃 …………………… 221
行星形成 …………………… 326
行星状星云 …………………… 325

休伊什，安东尼 …………………… 199

弦理论 …………………… 401

狭义相对论 …………………… 387

相互作用星系 …………………… 220
相对论 …………………… 357
相对论力学 …………………… 357
相对论天体物理［学］ …………………… 357
相变 …………………… 321
相接双星 …………………… 76

星云 …………………… 284
星云假说 …………………… 285
星团 …………………… 72
星云星团新总表 …………………… 296
星际分子 …………………… 224
星际化学 …………………… 221
星际云 …………………… 224
星际尘埃 …………………… 224
星际红化 …………………… 224
星际吸收 …………………… 221
星际物质 …………………… 224
星系 …………………… 149
星系风 …………………… 149
星系生活史 …………………… 242
星系团 …………………… 71
星系际物质 …………………… 221
星系形成和演化 …………………… 154
星系退行 …………………… 352
星座 …………………… 75
星族I …………………… 328
星族II …………………… 328
星族III …………………… 328
星等（见星等标）
星等标（又称波格森标度） … 261

星联网 …………………………… 394
星暴星系 ………………………… 393
星震 ……………………………… 394

旋涡星系 ………………………… 392
旋臂 ……………………………… 391

新星 ……………………………… 297

像素 ……………………………… 323
像增强器（像管） …………… 212

蝎虎座 BL 型天体 ……………… 51

蟹云脉冲星……………………… 91
蟹状星云………………………… 88

Y：以引尤元月央叶由压亚伊因有宇远英哑陨氧原圆晕掩移银婴御颜影耀

以太 ……………………………… 131

引力 ……………………………… 179
引力子 …………………………… 179
引力不稳定性 ………………… 174
引力半径 ……………………… 178
引力场 ………………………… 174
引力红移 ……………………… 178
引力时间膨胀 ………………… 179
引力坍缩 ……………………… 173
引力质量 ……………………… 176
引力透镜 ……………………… 174
引力常数 ……………………… 173
引力辐射 ……………………… 176

尤利西斯［探测器］ ………… 427

元素 ……………………………… 123
元素丰度 ………………………… 1
元素的起源 ……………………… 312

月食 ……………………………… 251
月球 ……………………………… 280

央斯基 …………………………… 227

叶凯士天文台 ………………… 449

由大而小理论 ………………… 423
由小而大模型…………………… 55

压力 ……………………………… 329

亚当斯，约翰·克劳奇 …………… 3
亚里士多德……………………… 13
亚利桑那陨星坑………………… 13
亚毫米波天文［学］ ………… 401

伊巴谷（尼西亚人） ………… 201
伊巴谷卫星 …………………… 201
伊卡鲁斯 ……………………… 212
伊卡鲁斯［实验］ …………… 212

因布［实验］ …………………… 212

有效温度 …………………………… 120

宇宙 ………………………………… 428
宇宙 ………………………………… 428
宇宙大小 …………………………… 377
宇宙中的生命 ……………………… 242
宇宙丰度 …………………………… 78
宇宙尘 ……………………………… 83
宇宙年 ……………………………… 84
宇宙年龄 …………………………… 3
宇宙的命运 ………………………… 135
宇宙的起源 ………………………… 312
宇宙的热寂 ………………………… 190
宇宙弦 ……………………………… 84
宇宙线 ……………………………… 83
宇宙学 ……………………………… 87
宇宙学红移 ………………………… 87
宇宙学原理 ………………………… 86
宇宙学常数 ………………………… 84
宇宙测量仪 ………………………… 87
宇宙监察 …………………………… 79
宇宙距离尺度 ……………………… 79
宇宙微波背景 ……………………… 83
宇宙模型 …………………………… 85

远日点 ……………………………… 11

英国－澳大利亚望远镜（AAT） ……………………………………… 8
英澳天文台 ………………………… 7
英澳望远镜 ………………………… 1

哑铃星云 …………………………… 113

陨星 ………………………………… 269

氧 …………………………………… 313

原子 ………………………………… 19
原子时 ……………………………… 20
原子序数 …………………………… 20
原子质量单位（amu） …………… 20
原子钟 ……………………………… 19
原元素 ……………………………… 449
原行星 ……………………………… 332
原时 ………………………………… 330
原始火球 …………………………… 330
原始原子 …………………………… 330
原始黑洞 …………………………… 330
原恒星 ……………………………… 332
原星系 ……………………………… 330

圆规座 X－1 ……………………… 70

晕 …………………………………… 187

掩 …………………………………… 303

移动星团法 ………………………… 281

银心 ………………………………… 149
银极 ………………………………… 149
银河号卫星 ………………………… 167
银河年 ……………………………… 149

银河系 …………………………… 150
银河系自转 ……………………… 149
银道面 …………………………… 149

婴儿宇宙……………………………… 22

御夫座 ε ………………………… 128

颜色…………………………………… 73
颜色 - 星等图……………………… 73

影子宇宙 ………………………… 375
影子物质 ………………………… 375

耀斑 ……………………………… 139

Z：中正主再自折质泽织周重轴兹脏造振致综紫最詹照

中子 ……………………………… 291
中子快俘获过程 ………………… 363
中子星 …………………………… 291
中子慢俘获过程 ………………… 392
中性氢区 ………………………… 183
中微子 …………………………… 286
中微子天文［学］ ……………… 287
中微子振荡 ……………………… 291

正电子 …………………………… 329

主序 ……………………………… 262

再发新星 ………………………… 352

自由下落 ………………………… 142
自动底片测量机…………………… 12
自行 ……………………………… 330
自我维持恒星形成 ……………… 374
自治领天体物理台 ……………… 111
自治领射电天体物理台 ………… 111
自转曲线 ………………………… 361
自转突变 ………………………… 167
自然力 …………………………… 140

折向点 …………………………… 426
折轴望远镜………………………… 88
折射望远镜 ……………………… 356

质子 ……………………………… 331
质子 - 质子反应（质子 - 质子链） ………………………… 331
质心………………………………… 64
质光关系 ………………………… 265
质量 ……………………………… 264
质量数 …………………………… 265

泽尔多维奇，雅可夫·鲍里索维奇 …………………………… 450
泽林邱克天体物理台 …………… 451

织女［星］ ……………………… 430

周光关系 ………………………… 321

重子………………………………… 28

重子不对称性 …………………… 28
重子份额 …………………… 33
重子灾难 …………………… 28
重元素 …………………… 190
重氢 …………………… 191
重量 …………………… 435

轴子 …………………… 20

兹威基，弗里茨 …………………… 451

脏雪球 …………………… 110

造父变星 …………………… 64

振动宇宙 …………………… 313

致密星系 …………………… 75

综合孔径 …………………… 11

紫外天文［学］ …………………… 427
紫外星 …………………… 427
紫外辐射（UV） …………………… 427
紫金山天文台 …………………… 337

最初三分钟 …………………… 137

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦望远镜 …………………… 227

照相星等 …………………… 322

阿拉伯数字开头的条目

3C 273 …………………… 58
8C 1435 + 63 …………………… 58

罗马数字开头的条目

I 型 …………………… 426
II 型 …………………… 426

英文字母开头的条目

B^2FH …………………… 21
CCD …………………… 63
CHON …………………… 70
$E = mc^2$ …………………… 116
GONG …………………… 169
H_0 …………………… 183
HDE 226868 …………………… 190
H－R 图 …………………… 205
MSW 效应 …………………… 282
N 星系 …………………… 296
QSO …………………… 339
SN 1987A …………………… 378
SS433 …………………… 392
UBV 系统 …………………… 427
X 行星 …………………… 326
X 射线 …………………… 447
X 射线天文［学］ …………………… 445

X 射线双星 …………………… 447
X 射线背景 …………………… 446
X 射线源 ……………………… 447
X 射线爆发体 ………………… 447

希腊字母开头的条目

α 粒子 ……………………………… 5
α 衰变 ……………………………… 5
αβγ 理论 …………………………… 5
β 衰变 ……………………………… 35
γ 射线 ……………………………… 159
γ 射线天文［学］ ………………… 158
μ 介子 ……………………………… 283
τ 粒子 ……………………………… 415

第二部分　汉字开头条目标题首字检字表

二画

二（E1）	599	十（S1）	611	八（B1）	596	人（R1）	611

三画

三（S2）	611	干（G1）	600	土（T1）	613	大（D1）	598
万（W1）	615	千（Q1）	610	广（G2）	600	卫（W2）	615
小（X1）	616	马（M1）	607				

四画

[一]

开（K1）	605	天（T3）	614	夫（F3）	600	无（W5）	615
元（Y4）	617	韦（W3）	615	木（M2）	608	不（B5）	596
太（T2）	613	厄（E2）	599	尤（Y3）	617	比（B4）	596
长（C1）	597	戈（G3）	600	巨（J2）	604	切（Q2）	610

[丨]

日（R2）	611	中（Z1）	619	贝（B3）	596

[丿]

牛（N1） 609 | 什（S3） 611 | 反（F1） 599 | 介（J1） 604
分（F2） 599 | 月（Y5） 617 | 乌（W4） 615 |

[丶]

火（H1） 601 | | |

[其他]

引（Y2） 617 | 巴（B2） 596 | 双（S4） 611 | 孔（K2） 605
水（S5） 611 | 以（Y1） 617 | |

五画

[一]

正（Z2） 619 | 甘（G4） 600 | 世（S11） 612 | 艾（A1） 595
古（G5） 600 | 本（B9） 596 | 石（S8） 611 | 布（B10） 596
平（P2） 609 | | |

[丨]

卡（K3） 605 | 北（B8） 596 | 目（M3） 608 | 叶（Y7） 617
电（D2） 598 | 由（Y8） 617 | 央（Y6） 617 | 史（S9） 611

[丿]

失（S7） 611 | 矢（S10） 611 | 仙（X2） 616 | 白（B6） 596
刍（C2） 597 | | |

[丶]

主（Z3） 619 | 闪（S6） 611 | 半（B7） 596 | 汉（H2） 601

[其他]

弗（F5） 600 | 加（J3） 604 | 皮（P1） 609 | 对（D3） 598
发（F4） 600

六画

[一]

邦（B12） 596 | 动（D6） 598 | 地（D5） 598 | 场（C3） 597
共（G7） 600 | 亚（Y10） 617 | 再（Z4） 619 | 压（Y9） 617
有（Y13） 618 | 百（B11） 596 | 夸（K4） 605 | 迈（M4） 608
托（T6） 614 | 毕（B13） 596 | 轨（G9） 601

[丨]

光（G8） 600 | 虫（C5） 597 | 同（T5） 614 | 因（Y12） 618
吸（X3） 616 | 回（H7） 602

[丿]

年（N2） 609 | 氘（D4） 598 | 先（X4） 616 | 乔（Q3） 610
休（X7） 616 | 伍（W6） 615 | 伏（F6） 600 | 自（Z5） 619
伊（Y11） 617 | 向（X5） 616 | 后（H6） 602 | 行（X6） 616
全（Q4） 610 | 合（H4） 602 | 创（C6） 597 | 各（G6） 600
多（D7） 598 | 色（S12） 612

[丶]

亥（H3） 601 | 闭（B14） 597 | 米（M5） 608 | 冲（C4） 597
冰（B15） 597 | 汤（T4） 614 | 宇（Y14） 618 | 守（S13） 612
安（A2） 595

[其他]

红（H5） 602

七画

[一]

麦（M6） 608
坎（K5） 605
苏（S16） 612
吞（T8） 614
均（J7） 604
极（J4） 604
远（Y15） 618
赤（C7） 597
折（Z6） 619
彤（T7） 614
克（K6） 605
连（L4） 606

[丨]

时（S15） 612
里（L2） 606

[丿]

利（L3） 606
免（M7） 608
伯（B16） 597
狄（D8） 598
伽（G10） 601
角（J5） 604
近（J6） 604

[丶]

亨（H8） 602
沙（S14） 612
闵（M8） 608
沃（W8） 615
快（K7） 605
完（W7） 615
冷（L1） 606

[其他]

阿（A3） 595
纳（N3） 609

八画

[一]

环（H9） 602
林（L6） 606
拉（L5） 606
武（W9） 615
杰（J9） 604
欧（O1） 609
规（G11） 601
奇（Q5） 610
英（Y16） 618
势（S19） 612

[丨]

非（F8） 600
帕（P3） 609
国（G12） 601
凯（K8） 605
昌（C9） 597
罗（L7） 606

[丿]

季（J8） 604
周（Z10） 619
佩（P6） 610
昏（H10） 602
质（Z7） 619
金（J10） 604

[丶]

变（B17） 597
泡（P5） 610
视（S18） 612
庞（P4） 610
波（B18） 597
放（F7） 600
泽（Z8） 619
单（D9） 598
空（K9） 605

[其他]

弦（X8） 616
织（Z9） 619
弪（J11） 604
经（J12） 604
参（C8） 597
参（S17） 612

九画

[一]

玻（B22） 597
柯（K11） 606
轴（Z12） 620
甚（S21） 612
相（X10） 616
轻（Q7） 610
胡（H13） 602
柏（B21） 597
标（B20） 597
威（W10） 615

[丨]

背（B19） 597
哈（H11） 602
临（L9） 606
哑（Y17） 618
尾（X11） 616

[丿]

氢（Q6） 610 | 秒（M11） 608 | 科（K10） 606 | 重（Z11） 619
复（F10） 600 | 皇（H14） 602 | 食（S23） 612 | 逃（T9） 614
胚（P7） 610 | 脉（M9） 608 | 狭（X9） 616

[丶]

度（D10） 599 | 施（S22） 612 | 美（M10） 608 | 类（L8） 606
逆（N4） 609 | 兹（Z13） 620 | 恒（H12） 602 | 测（C10） 597
活（H15） 602 | 洛（L10） 606 | 室（S24） 612 | 神（S20） 612

[其他]

费（F9） 600 | 陨（Y18） 618 | 绝（J13） 604 | 统（T10） 614

十画

[一]

泰（T11） 614 | 埃（A4） 595 | 莫（M13） 608 | 莉（L13） 607
格（G15） 601 | 核（H18） 603 | 哥（G14） 601 | 速（S29） 613
贾（J14） 604 | 原（Y20） 618 | 振（Z16） 620 | 热（R3） 611
较（J16） 604 | 致（Z17） 620

[丨]

紧（J17） 604 | 晕（Y22） 618 | 恩（E3） 599 | 圆（Y21） 618

[丿]

氦（H17） 603 | 氧（Y19） 618 | 氨（A6） 595 | 特（T12） 614
造（Z15） 620 | 透（T14） 614 | 射（S26） 612 | 爱（A5） 595
脏（Z14） 620 | 胶（J15） 604

[丶]

衰（S27） 613 | 高（G13） 601 | 离（L12） 607 | 旅（L15） 607
朔（S28） 612 | 涡（W11） 615 | 海（H16） 602 | 流（L14） 607
朗（L11） 606 | 诺（N6） 609 | 冥（M12） 608

[其他]

弱（R4） 611 | 通（T13） 614 | 桑（S25） 612 | 能（N5） 609

十一画

[一]

彗（H21） 603 | 球（Q9） 610 | 基（J18） 604 | 勒（L16） 607
黄（H20） 603 | 菲（F11） 600 | 萨（S30） 613 | 梅（M14） 608
掩（Y23） 618 | 探（T15） 614

[丨]

晨（C11） 598 | 冕（M16） 609 | 距（J20） 605 | 婴（Y26） 619

[丿]

铯（S31） 613 | 银（Y25） 618 | 移（Y24） 618 | 笛（D11） 599
第（D12） 599 | 盘（P8） 610 | 船（C12） 598 | 猎（L18） 607

[丶]

毫（H19） 603 | 康（K12） 606 | 旋（X12） 617 | 望（W12） 615
羟（Q8） 610 | 粒（L17） 607 | 减（J19） 604 | 惯（G16） 601
混（H22） 603 | 深（S32） 613 | 密（M15） 609

[其他]

维（W13） 615 | 综（Z18） 620

十二画

[一]

琼（Q11） 610 | 塔（T16） 614 | 超（C13） 598 | 博（B24） 597
彭（P10） 610 | 斯（S34） 613 | 联（L19） 607 | 蒂（D16） 599
棒（B23） 597 | 椭（T18） 615 | 惠（H24） 603 | 裂（L22） 607
提（T17） 615

[丨]

紫（Z19） 620 | 最（Z20） 620 | 量（L21） 607 | 喷（P9） 610
黑（H23） 603

[丿]

短（D17） 599 | 氮（D13） 599 | 傅（F12） 600 | 焦（J21） 605
奥（A7） 595 | 御（Y27） 619 | 链（L20） 607 | 等（D15） 599

[丶]

普（P11） 610 | 道（D14） 599 | 温（W14） 615

[其他]

强（Q10） 610 | 疏（S33） 613

十三画

[一]

蓝（L24） 607 | 蒙（M17） 609 | 赖（L23） 607 | 雷（L25） 607
零（L26） 607 | 摄（S36） 613 | 辐（F14） 600

[丨]

频（P12） 610
暗（A9） 596
照（Z22） 620

[丿]

矮（A8） 596
像（X14） 617
微（W15） 615
简（J22） 605
詹（Z21） 620
解（J23） 605

[丶]

新（X13） 617
塞（S35） 613
福（F13） 600
裸（L27） 607

十四画

静（J24） 605
赫（H25） 603
聚（J25） 605
模（M18） 609
碳（T19） 615
磁（C14） 598
稳（W16） 615
赛（S37） 613
褐（H26） 603
隧（S38） 613

十五画

横（H27） 603
暴（B25） 597
影（Y29） 619
蝴（H28） 603
蝎（X15） 617
墨（M19） 609
黎（L28） 607
德（D18） 599
颜（Y28） 619
潮（C15） 598
澳（A10） 596

十六画

霍（H29） 603
穆（M20） 609
儒（R5） 611
膨（P13） 610
鲸（J27） 605
激（J26） 605

十七—二十画

戴（D19） 599 | 蟹（X16） 617 | 爆（B26） 597 | 耀（Y30） 619

第三部分　外文－中文名词对照表

Å——埃 …… 8

AAT——英国－澳大利亚望远镜 …… 8

AGN——活动星系核 …… 4

amu——原子质量单位 …… 20

APM——自动底片测量机 …… 12

ASCA——宇宙学和天体物理学高能卫星 …… 30

AU——天文单位 …… 19

B^2FH——伯比奇－伯比奇－福勒－霍伊尔论文 …… 21

BOREXINO——玻勒克辛诺［实验］ …… 54

CCD——电荷耦合器件 …… 69

cD——中心超巨型星系 …… 58

CDM——冷暗物质 …… 72

CETI——与地外智能通讯计划 …… 374

CfA——哈佛－史密松天体物理中心 …… 188

CHON——碳氢氧氮 …… 70

CNO 循环——碳氮氧循环 …… 72

COBE——科比［卫星］ …… 72

COS B——科斯 B［卫星］ …… 78

COSMOS——宇宙测量仪 …… 87

DNA——脱氧核糖核酸 …… 14

EROS——厄罗斯［计划］ …… 130

ESA——欧洲空间局 …… 133

ESO——欧洲南方天文台 …… 132

ETH——瑞士联邦技术大学 …… 120

EUVE——极紫外探险者 …… 134

eV——电子伏 …… 123

EXOSAT——埃克索萨特［卫星］ …… 133

GALLEX——伽勒克斯［实验］ …… 158

Geminga——杰敏卡 γ 射线源 …… 162

GeV——十亿电子伏 …… 75

Ginga——银河号卫星 …… 167

Giotto——乔托行星际探测器 …… 167

GMRT——巨型米波射电望远镜 …… 166

GMT——格林尼治平时 …… 180

GONG——全球日震观测网 …… 169

GRANAT——石榴号卫星 …… 170

GSFC——哥达德航天中心 …… 169

GUT——大统一理论 …… 170

H_0——哈勃常数 …… 206

HI——中性氢区 …… 183

HII——电离氢区 …… 183

Hakucho——天鹅号卫星 …… 184

HD——亨利·德拉伯星表 …… 194

HDE——亨利·德拉伯星表补篇 …… 60

HDM——热暗物质 …………… 202
HEAO——高能天体物理台 …… 201
H-R图——赫-罗图 ………… 197
HST——哈勃空间望远镜……… 208
IAT——国际原子时 …………… 221
IAU——国际天文学联合会 …… 76
ICARUS——伊卡鲁斯［实验］ ……………………………… 212
ICM——星系团内物质 ………… 30
IMB——因布［实验］ ………… 212
INT——艾萨克·牛顿望远镜 … 225
IRAS——爱拉斯［卫星］ …… 225
IUE——国际紫外探险者……… 221
JD——儒略日 ………………… 231
JPL——喷气推进实验室 ……… 230
K——开氏［温度标］ ………… 235
KAO——柯伊伯机载天文台 … 238
KeV——千电子伏 ……………… 75
Kpc——千秒差距 ……………… 238
LGM——小绿人 ………………… 35
LMC——大麦云 ……………… 247
LSR——本地静止标准………… 247
M——梅西叶星云星团表 …… 268
MACHO——马乔体 …………… 257
MDM——混合暗物质 ………… 278
MERLIN——梅尔林干涉网 …… 268
MeV——百万电子伏 …………… 78
MK系统——摩根-基南光谱分类系统 ……………………… 388
MMT——多镜面望远镜 ……… 282
Mpc——百万秒差距…………… 268
MRAO——马拉德射电天文台 ……………………………… 282
MSW效应——米凯耶夫-斯米尔诺夫-沃尔芬斯坦效应 … 282
N——牛顿 ……………………… 294
NASA——美国宇航局 ………… 284
NGC——星云星团新总表 …… 296
nm——纳米 …………………… 284
NP——国家射电天文台脉冲星 ……………………………… 90
NRAO——国家射电天文台 …… 284
OGLE——奥格勒［实验］ …… 303
Pa——帕（斯卡） …………… 330
pc——秒差距 ………………… 316
p-p链——质子-质子链 …… 331
PSR——脉冲星 ……………… 333
QCD——量子色动力学 ……… 339
QED——量子电动力学 ……… 339
QSO——类星体 ……………… 346
r过程——中子快俘获过程…… 363
RATAN 600——拉坦600［射电望远镜］ …………………… 352
RGO——格林尼治皇家天文台 ……………………………… 362
ROE——爱丁堡皇家天文台 … 363
ROSAT——罗萨特［卫星］ … 361
s过程——中子慢俘获过程…… 392
SAGE——萨奇［实验］ ……… 365
SAS II——小天文卫星2号 …… 159
SETI——塞提［计划］ ……… 374
SMC——小麦云 ……………… 377
SN——超新星 ………………… 407
SNR——超新星遗迹 ………… 412
SNU——太阳中微子单位 …… 384
Starlink——星联网 …………… 394

SUSY——超对称性 …………… 413
TD-1——特德1号［卫星］
…………………………………… 416
TOE——万物之理 …………… 418
UBV系统——紫外-蓝-黄
三色系统 ……………………… 427
Uhuru——乌呼鲁［卫星］ …… 427
UKIRT——联合王国红外望远镜
…………………………………… 427
Ulysses——尤利西斯［探测器］
…………………………………… 427
UT——世界时 ………………… 428
UV——紫外辐射 ……………… 427
V——目视星等………………… 434
VLA——甚大［天线］阵 …… 432
VLBA——甚长基线［天线］阵
…………………………………… 432
VLBI——甚长基线干涉测量 … 432
VLT——甚大望远镜…………… 432
WIMP——温普粒子 …………… 440
XUV——超紫外辐射 ………… 448
ZAMS——零龄主序 …………… 451
Zond——探测号飞行器 ……… 451

附　　录

希腊字母

大 写	小 写	中文名	大 写	小 写	中文名
Α	α	阿尔法	Ν	ν	纽
Β	β	贝塔	Ξ	ξ	克西
Γ	γ	伽玛	Ο	ο	欧米克隆
Δ	δ	德耳塔	Π	π	派
Ε	ε	伊普西隆	Ρ	ρ	柔
Ζ	ζ	泽塔	Σ	σ	西格玛
Η	η	伊塔	Τ	τ	陶
Θ	θ	西塔	Υ	υ	玉普西隆
Ι	ι	约塔	Φ	ϕ	弗爱
Κ	κ	卡帕	Χ	χ	凯
Λ	λ	兰姆达	Ψ	ψ	普赛
Μ	μ	米欧	Ω	ω	奥米伽

国际通用星座

中名	符号	拉丁名	中名	符号	拉丁名
白羊	Ari	Aries	巨蟹	Cnc	Cancer
半人马	Cen	Centaurus	孔雀	Pav	Pavo
宝瓶	Aqr	Aquarius	猎户	Ori	Orion
北冕	CrB	Corona Borealis	猎犬	CVn	Canes Venatici
波江	Eri	Eridanus	六分仪	Sex	Sextans
苍蝇	Mus	Musca	鹿豹	Cam	Camelopardalis
豺狼	Lup	Lupus	罗盘	Pyx	Pyxis
长蛇	Hya	Hydra	摩羯	Cap	Capricornus
船底	Car	Carina	牧夫	Boo	Bootes
船帆	Vel	Vela	南极	Oct	Octans
船尾	Pup	Puppis	南冕	CrA	Corona Austrina
大犬	CMa	Canis Major	南三角	TrA	Triangulum Australe
大熊	UMa	Ursa Major	南十字	Cru	Crux
雕具	Cae	Caelum	南鱼	PsA	Piscis Austrinus
杜鹃	Tuc	Tucana	麒麟	Mon	Monoceros
盾牌	Sct	Scutum	人马	Sgr	Sagittarius
飞马	Peg	Pegasus	三角	Tri	Triangulum
飞鱼	Vol	Volans	山案	Men	Mensa
凤凰	Phe	Phoenix	蛇夫	Oph	Ophiuchus
海豚	Del	Delphinus	室女	Vir	Virgo
后发	Com	Coma Berenices	时钟	Hor	Horologium
狐狸	Vul	Vulpecula	狮子	Leo	Leo
绘架	Pic	Pictor	双鱼	Psc	Pisces
唧筒	Ant	Antlia	双子	Gem	Gemini
剑鱼	Dor	Dorado	水蛇	Hyi	Hydrus
金牛	Tau	Taurus	天秤	Lib	Libra
鲸鱼	Cet	Cetus	天鹅	Cyg	Cygnus
矩尺	Nor	Norma	天鸽	Col	Columba
巨爵	Crt	Crater	天鹤	Gru	Grus
巨蛇	Ser	Serpens	天箭	Sge	Sagitta

中名	符号	拉丁名	中名	符号	拉丁名
天龙	Dra	Draco	仙女	And	Andromeda
天炉	For	Fornax	仙王	Cep	Cepheus
天猫	Lyn	Lynx	显微镜	Mic	Microscopium
天琴	Lyr	Lyra	小马	Equ	Equuleus
天坛	Ara	Ara	小犬	CMi	Canis Minor
天兔	Lep	Lepus	小狮	LMi	Leo Minor
天蝎	Sco	Scorpius	小熊	UMi	Ursa Minor
天燕	Aps	Apus	蝎虎	Lac	Lacerta
天鹰	Aql	Aquila	蝘蜓	Cha	Chamaeleon
网罟	Ret	Reticulum	印第安	Ind	Indus
望远镜	Tel	Telescopium	英仙	Per	Perseus
武仙	Her	Hercules	玉夫	Scl	Sculptor
乌鸦	Crv	Corvus	御夫	Aur	Auriga
仙后	Cas	Cassiopeia	圆规	Cir	Circinus

海南出版社邮购书目

书名	作者	定价
畅销书		
数字化生存——计算不再只和计算机有关，它决定我们的生存	[美]尼葛洛庞帝	16.80
影响历史进程的100位名人排行榜	[美]麦克·哈特	27.80
证券分析——投资者的《圣经》	[美]本杰明·格雷厄姆	60.00
智慧书——永恒的处世艺术	[西]葛拉西安	19.80
心灵书——重建你的精神家园	[英]托马斯·摩尔	19.80
古典作曲家排行榜	[美]菲尔·G·古尔丁	39.80
美国赖以立国的文本	[美]J·艾捷尔	60.00
世界上最伟大的奥秘——沿着人生的阶梯向上攀登	[美]奥格·曼狄诺	13.80
本领恐慌	王小平	24.80
本领测试	阿尧咨询网	24.80
海尔中国造	颜建军、胡泳	29.80
溃疡——直面中国学术腐败	方舟子	21.80
放量——中国股市事变亲历记	张志雄	23.80
刘晓庆成名之谜	三毛驼	19.80
欧洲洗浴文化史	[德]克劳斯·克拉莫等	29.80
二战未解之谜	[美]威廉·布鲁尔	19.80
百万圆桌俱乐部推销员核心教程		
——探寻技巧	[美]百万圆桌俱乐部	19.80
——推销技巧	[美]百万圆桌俱乐部	19.80
——成交技巧	[美]百万圆桌俱乐部	19.80
西方艺术史	[法]雅克·德比奇等	30.00

书名	作者	定价
欧洲史	[法]德尼兹·加亚尔等	39.80
冒气泡——最时尚的英语话题	[加]赛明思	19.80
赴美就学笔记	高歌	24.80
成功销售第一书	[美]杰佛瑞·基特玛	26.80
10000种说爱你的方式	[美]格利高里·哥戴克	28.00
1001种浪漫	[美]格利高里·哥戴克	19.80
“第三帝国”系列		
党卫队	时代生活	25.00
隐蔽战	时代生活	25.00
铁 拳	时代生活	25.00
权力的中心	时代生活	25.00
巴巴罗萨	时代生活	25.00
非洲军团	时代生活	25.00
权力风云	时代生活	25.00
帝国的扩张	时代生活	25.00
新秩序	时代生活	25.00
杀人机器	时代生活	25.00
征服者铁蹄	时代生活	25.00
噩梦沉沦	时代生活	25.00
投资类		
逆向思考的艺术	[美]汉弗莱·B·尼尔	15.00
股票培训班	[匈]安德列·科斯托拉尼	19.80
一个投机者的智慧	[德]约翰内斯·格劳斯	16.00
一个想法1000万	[美]迈克尔·刘易斯	19.80
查理·D——一个传奇债券交易员的故事	[美]威廉·法龙	19.80
股票投资红皮书	王中魁等著	50.00
索罗斯——走在股市曲线前面的人	[美]乔治·索罗斯	16.80

书名	作者	定价
索罗斯旋风 ——历史上最伟大金融家的生平与投资秘诀	[美]罗伯特·斯雷特	21.80
大交易	[美]斯·瓦瑟斯坦	39.80
大收购——华尔街股市兼并风潮	[美]布莱恩·伯勒	29.80
新金融大师	[美]约翰·特雷恩	24.80
投资技巧	[美]约翰·特雷恩	19.80
格雷厄姆论价值投资	[美]洛尔	19.80
散户兵法 ——十种超越大盘的选股策略	[美]理查德·科克	16.80
股票:长线法宝	[美]杰里米·希格尔	24.80
投资经典系列		
股市晴雨表	[美]威廉·彼得·汉密尔顿	18.00
客户的游艇在哪里	[美]弗雷德·施维德	19.80
股票作手回忆录	[美]爱德温·李费佛	19.80
投机与骗局	[美]查尔斯·马凯	24.80
金融炼金术	[美]乔治·索罗斯	24.80
说谎者的扑克牌 ——债券作手回忆录	[美]迈克尔·刘易斯	25.00
储备与稳定——选股的必读书	[美]本杰明·格雷厄姆	24.80
怎样选择成长股	[美]菲利普·A·费舍	19.80
金融类		
花旗银行——美国金融霸权的衰落	[美]菲·茨威格	69.80
华尔街巨人	华尔街日报编辑部	39.80
大银行家	[美]马丁·迈耶	29.80
市场	[美]马丁·迈耶	22.80

书名	作者	定价
美国金融大灾难	[美]马丁·迈耶	24.80
美元的命运	[美]马丁·迈耶	21.80
货币市场——改变人类用钱方式的革命	[美]马丁·迈耶	24.80
华尔街:大亨与金钱	[美]马丁·迈耶	24.80
管理类		
员工激励16法	[美]费迪南德·佛尼斯	13.80
管理大师50人	[美]斯图尔特·克雷纳	28.00
管理箴言录	[美]斯图尔特·克雷纳	28.00
管理必读50种	[美]斯图尔特·克雷纳	19.80
杜拉克论管理	[美]彼得·杜拉克	21.80
即兴演奏——创造性管理	[美]高约翰	15.00
企业人礼仪手册	[美]莱·鲍尔德里奇	29.80
蓝血十杰——美国现代企业管理之父	[美]约翰·伯恩	29.80
MBA实务——企业管理	[美]保罗·阿基提	28.00
MBA实务——企业经营	[美]弗·欧布莱恩	25.00
MBA实务——财务管理	[美]约翰·A·崔西	25.00
MBA实务——市场营销	[美]达拉斯·墨菲	28.00
管理大师系列		
乱中取胜——创新的45个秘方	[美]汤姆·彼得斯	50.00
汤姆·彼得斯论创新	[美]汤姆·彼得斯	36.00
创新与企业家精神	[美]彼得·杜拉克	24.80
凯西定律	[美]艾尔·凯西	21.80
广告类		
广告的艺术——乔治·路易斯论大众传播	[美]乔治·路易斯 比尔·皮特兹	480.00

书 名	作 者	定 价
修道院纪事 ——*1998*年诺贝尔文学奖授奖作品	[葡]若泽·萨拉马戈	24.80
鸦片史	[美]马丁·布思	24.80
前妻俱乐部	[美]奥·戈德史密斯	24.80
一年笑到头	[美]大卫·格罗斯	19.80
妙探之 初出茅庐破大案	[美]嘉德纳	25.00
黄金的秘密	[美]嘉德纳	25.00
失踪的女人	[美]嘉德纳	25.00
变色的诱惑	[美]嘉德纳	25.00
钻石的杀机	[美]嘉德纳	25.00
亿万富翁的歧途	[美]嘉德纳	25.00
女人等不及了	[美]嘉德纳	25.00
探险家的娇妻	[美]嘉德纳	25.00
给她点毒药	[美]嘉德纳	25.00
富贵险中求	[美]嘉德纳	25.00

1. 请按以下地址通过邮局汇款

   地　　址：海口市金盘区建设三横路2号

   联 系 人：海南出版社　杨秀美(收)

   邮　　编：570216

   查询电话：(0898)66812776

2. 汇款以图书定价为准，邮费由我社承担。
3. 如果您有好的选题和书稿，或者您读过我们的图书之后有何感想和评论，请与我们联系：

   地　　址：北京市北三环东路2号中旅大厦1204室

   联 系 人：北京琼版图书经销部　刘　逸（收）

   邮　　编：100028

   热线电话：（010）64642249　　**E-mail：**hnbook@263.net

[General Information]
书名=《大宇宙百科全书　关于这个时空最权威的指南》
作者=
页数=1000
SS号=0
出版日期=